

Pasi Kamppari

MAATUTKALUOTAUS OSANA
AIRIX YMPÄRISTÖ OY:N
VESIHUOLTOLINJASUUNNITTELUA
Menetelmäkuvaus ja maatutka-aineiston
tarkkuustarkastelu

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma



Lokakuu 2009





MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä 30.10.2009	
Tekijä(t) Pasi Kamppari		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Maanmittaustekniikan koulutusohjelma	
Nimeke MAATUTKALUOTAUS OSANA AIRIX YMPÄRISTÖ OY:N VESIHUOLTOLINJASUUNNITTELUA Menetelmäkuvaus ja maatutka-aineiston tarkkuustarkastelu			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on antaa menetelmäkuvaus AIRIX Ympäristö Oy:n vesihuolto-linjasuunnittelukohteiden maaperätutkimuksista sekä tarkastella käytettävän maatutka-aineiston tarkkuutta. AIRIX Ympäristö Oy käyttää isommissa vesihuoltosuunnittelukohteissa pääsääntöisesti maaperätutkimusmenetelmänä maatutkaluotausta. Työn toimeksiantajana on AIRIX Ympäristö Oy ja työ tehtiin vahvassa yhteistyössä maatutkaluotaukset AIRIX:lle tekevän Geo-Work Oy:n kanssa.</p> <p>Maatutkaluotaus on monikäyttöinen geofysikaalinen maaperän tutkimusmenetelmä. Se perustuu radiotaajuisten sähkömagneettisten aaltojen käyttöön. Aalto etenee maaperään heijastuen osittain takaisin maaperässä olevista rajapinnoista. Tutkapulssin etenemisestä ja takaisinheijastumisesta voidaan tulkita maaperässä olevia maalajirajoja. Vesihuoltosuunnittelun yhteydessä tehtävissä tutkimuksissa tärkeimpänä tavoitteena on tunnistaa maaperässä olevat kalliokohteet.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tehtävä maatutka-aineiston tarkkuustarkastelu tehdään esimerkkikohteiden perusteella. Kohteet ovat suunnitteluvaiheessa maatutkaluodattuja ja jo rakennettuja kohteita. Työssä vertaillaan maatutkaluotauksella saatuja maaperätietoja rakennusvaiheessa tehtyihin havaintoihin ja kirjanpitoihin. Havaintojen perusteella voidaan todeta maatutkatun maaperätiedon olevan osin melko tarkkaa, mutta tietyissä esimerkkikohteissa aineiston laadussa olisi ollut parannettavaa. Varsinkin kalliokohteiden näkyvyyden osalta saatiin tuloksia, joiden kohdalla virhelähteiden analysointi on tarpeen.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Tutkat, Vesihuolto, Maaperä, Kalliot			
Sivumäärä 39+11	Kieli Suomi	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200910195003	
Huomautus (huomautukset liitteistä) Liitteet pdf-muodossa			
Ohjaavan opettajan nimi Erkki Karjalainen		Opinnäytetyön toimeksiantaja 	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 30.10.2009	
Author(s) Pasi Kamppari		Degree programme and option Land Surveying Degree programme	
Name of the bachelor's thesis GROUND PENETRATING RADAR GAUGING AS PART OF PLANNING THE WATER SUPPLY LINE OF AIRIX ENVIRONMENT LTD Process description and precision evaluation of the ground penetrating radar data			
Abstract <p>The objective of this final project is to provide a process description on the soil quality studies in the water supply line planning projects of AIRIX Environment Ltd, as well as to examine the precision of the used ground penetrating radar data. In larger-scale water supply planning projects, AIRIX Environment Ltd primarily uses ground penetrating radar gauging as the method of studying soil quality. The employer of this final project is AIRIX Environment Ltd, and it was conducted in adjacent cooperation with Geo-Work Ltd, who conducts the ground penetrating radar gauging for AIRIX.</p> <p>Ground penetrating radar gauging is a versatile geophysical method for studying the soil. It is based on using radio-frequency, electromagnetic waves. The wave moves in the soil and it is partly reflected back from the surfaces in the soil. The progress and reflection of the pulse helps to recognize the boundaries of different kinds of soil. The most important goal of the gauging done in connection to the water supply planning is to recognize the rock types in the soil.</p> <p>The precision evaluation of the ground penetrating radar data conducted in this final project is based on example locations. The locations are either in the planning stage, gauged with a ground penetrating radar, or already finished. The project compares the soil data received by gauging to the perceptions and journals made during construction.</p>			
Subject headings, (keywords) Radars, Water supply, Soil, Rocks			
Pages 39+11	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200910195003	
Remarks, notes on appendices Appendices are in pdf-format			
Tutor Erkki Karjalainen		Bachelor's thesis assigned by 	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TYÖN TOIMEKSIANTAJA	2
3	MAAPERÄTUTKIMUKSET	2
3.1	Maatutkaluotaus.....	4
3.1.1	Maatutkaluotauksen teoreettiset perusteet	4
3.2	Muut AIRIX Ympäristö Oy:n käyttämät maaperätutkimusmenetelmät	6
3.2.1	Tärykairaus.....	6
3.2.2	Painokairaus	7
4	MAAPERÄTUTKIMUSTEN KULKU AIRIX YMPÄRISTÖ OY:N VESIHUOLTOLINJASUUNNITTELUSSA	7
4.1	Vesihuoltolinjan maatutkaluotauksen maastotyön kulku	9
4.2	Vesihuoltolinjan maatutkaluotauksen tulkinta	11
4.3	Geo-Work Oy:n maatutkakalusto	12
5	MAAPERÄN VAIKUTUS VESIHUOLTOLINJAN RAKENTAMISEEN	13
6	TARKKUUSTARKASTELUN ESIMERKKIKOhteet	15
6.1	Padasjoki-Asikkala vesihuoltolinja	15
6.1.1	Päälínjan maatutkaluotauksen tarkastelu	16
6.1.2	Sivuhaaran maatutkaluotauksen tarkastelu	19
6.1.3	Yhteen veto maatutkaluotauksen tarkkuudesta.....	19
6.2	Vesilahti-lempäälä siirtoviemäri.....	20
6.2.1	Maatutkaluotauksen tarkastelu.....	21
6.2.2	Yhteen veto maatutkaluotauksen tarkkuudesta.....	22
6.3	Sotkian-Kurisjärven vesihuoltolinja	23
6.3.1	Maatutkaluotaus kohteessa	23
6.3.2	Päälínjan maatutkaluotauksen tarkastelu	24
6.3.3	Sivuhaarojen maatutkaluotauksen tarkastelu	24
6.3.4	Yhteen veto maatutkaluotauksen tarkkuudesta.....	25
6.4	Kikkerlän alueen vesihuolto	26
6.4.1	Päälínjan maatutkaluotauksen tarkastelu	27
6.4.2	Sivuhaarojen maatutkaluotauksen tarkastelu	27

6.4.3	Yhteenveto maatutkaluotauksen tarkkuudesta.....	27
6.5	Taipaleen alueen ja heikkilän toimintakeskuksen viemäröinti	28
6.5.1	Maaperätietojen tarkastelu	28
6.5.2	Yhteenveto maatutkaluotauksen tarkkuudesta.....	29
6.6	Pajuniemen alueen viemäröinti.....	29
6.6.1	Maatutkaluotauksen tarkastelu.....	30
6.6.2	Yhteenveto maatutkaluotauksen tarkkuudesta.....	30
7	TULOSTEN TARKASTELU	31
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	35
9	LÄHTEET	37

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään AIRIX Ympäristö Oy:n vesihuoltosuunnitteluprojektien osana tehtäviin maaperätutkimuksiin. Maaperätutkimusmenetelminä käytetään maatutkaluotausta, tärykairausta ja painokairausta. Tässä työssä keskitytään erityisesti maatutkaluotaukseen ja sen soveltuvuuteen vesihuoltolinjasuunnittelun maaperätutkimusmenetelmäksi. Työssä kerrotaan maaperätutkimusprosessin etenemisestä ja esimerkkikohteiden avulla selvitetään käytettävän maatutkaluotausaineiston tarkkuutta.

Maatutkaluotausprosessin eteneminen ja menetelmän teorian tarkastelu tehdään maatutkaukseen erikoistuneen yrityksen edustajien lausuntojen ja kirjallisten selvitysten avulla. Maatutkaluotauksen teorian ja maaperätutkimusten kulun tarkastelu tehdään, jotta voitaisiin paremmin ymmärtää menetelmän toimintaperiaate ja sitä kautta siinä olevat virhelähteet ja mahdolliset heikkoudet. Tämä edesauttaa maatutka-aineiston tarkkuuden analysointia, kun mahdollisten epätarkkuuksien lähteet tiedostetaan ja osataan ottaa tutkaolosuhteiden vaikutus huomioon maaperätietojen tarkastelussa.

Maaperätutkimusaineiston tarkkuutta analysoidaan kuuden esimerkkikohteen perusteella. Kohteet ovat suunnitteluvaiheessa maatutkaluodattuja ja jo rakennettuja vesihuoltolinjoja. Tarkkuustarkastelussa verrataan maatutkan antamaa maaperätietoa rakennusvaiheessa tehtyihin havaintoihin. Vertailussa tarkastellaan maatutkattujen kalliokohteiden ja irtomaalajikerrosten paikkansapitävyyttä suunnitelmissa.

Tämän opinnäytetyön päätavoite on antaa toimeksiantajalle kuva käytettävän maatutkaluotausaineiston laadusta sekä siitä onko tarpeellista etsiä muita ratkaisumalleja maaperätutkimusten toteuttamiseksi. Tärkein syy maatutkaluotauksen suorittamiseen on kalliolouhintaa vaativien kohteiden selvittäminen, joten niiden tarkkuuden tarkastelusta painotetaan tässä työssä erityisesti.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

Tämän selvitystyön toimeksiantajana on AIRIX Ympäristö Oy. AIRIX Ympäristö Oy on konsulttitoimisto, joka tarjoaa monialaisia asiantuntijapalveluja. Pääpaino on yhdyskuntasuunnittelussa ja yhdyskuntatekniikan eri osa-alueilla. Keskeisimpiä toiminta-alueita ovat maankäytön suunnittelu, vesihuolto, tie-, liikenne- ja aluetekniikka sekä teollisuuden vesi- ja ympäristötekniikka. Pääasiallisena asiakaskuntana toimii julkinen sektori, mutta yritys tarjoaa myös konsulttipalveluja yksityisen sektorin tarpeisiin. AIRIX Ympäristö Oy:llä on neljä eri toimipistettä, jotka sijaitsevat Tampereella, Turussa, Espoossa ja Oulussa. Yhteensä yrityksen palveluksessa on noin kahdeksankymmentä henkilöä. Tämä opinnäytetyö on tehty Tampereen yksikön toimeksiannosta. Tampereen yksikössä työskentelee noin kaksikymmentä henkilöä ja yksikön päällikkönä toimii Reijo Haronen. Hän toimii myös tämän opinnäytetyön ohjaajana yhdessä suunnittelupäällikkö Jouni Hyypiän kanssa. Maatutkaluotaukset AIRIX Ympäristö Oy:lle tekevä alikonsulttiyritys Geo-Work Oy on toiminut tässä opinnäytetyössä yhteistyökumppanina. Risto Pollari ja Jukka Clifford ovat toimineet Geo-Work Oy:n edustajina ja omalla panoksellaan edesauttaneet tämän opinnäytetyön toteutumisesta.

3 MAAPERÄTUTKIMUKSET

Ympäristöalalla onnistunut suunnitteluprojekti vaatii kattavaa ja oikeellista tietoa suunnittelualueesta. Siksi onkin ensiarvoisen tärkeää, että suunnittelun tueksi saatu lähtötieto suunnittelualueelta on mahdollisimman tarkkaa. Tarkka lähtötieto helpottaa suunniteltujen vaihtoehtoisten sijoitusten ja ratkaisumallien vertailua sekä sen avulla välttyään ikäviltä yllätyksiltä rakennusvaiheessa. Silloin voidaan jo suunnitteluvaiheessa kohdentaa suunnitelmat siten, että välttyään ylimääräisiltä kustannuksilta sekä saadaa suunnitelmat toteutettua aiheuttaen mahdollisimman vähän vahinkoa ympäristölle.

Maaperätutkimuksiin löytyy nykyään monia erilaisia menetelmiä. Menetelmän valinta ja tutkimuksen laajuus riippuvat tietenkin aina tilaajan toiveista ja tarpeista. AIRIX Ympäristö Oy:n laajemmissa vesihuoltolinjasuunnitteluprojekteissa käytetään hyvin usein maaperätutkimusmenetelmänä maatutkaluotausta ja sen tukena täry- ja painokairausta. Maatutkaluotauksesta on viime vuosikymmeninä tullut tehokas geofysika-

linen tutkimusmenetelmä. AIRIX:lla ei itsellään ole maatutkaluotauskalustoa, joten se teettää maatutkaluotaukset alan asiantuntijayrityksellä Geo-Work Oy:llä. AIRIX:lla on käytössä kevyt painokaira sekä tärykaira, joiden avulla tehdään tarvittavia lisätutkimuksia maatutkaluotauksen ohella. Suunniteltaessa maaperätutkimusten laajuutta ja käytettävää kalustoa on huomioitava, minkälainen suunnittelukohde on kyseessä. Tähän opinnäytetyöhön ottamani esimerkkikohteet ovat laajoja vesihuoltolinjoja, jotka ovat laajuudeltaan useita kilometrejä. Kairaamalla suoritettavat maaperätutkimukset ovat pitkillä linjoilla työläitä ja maaperätieto ei ole jatkuvaa. Maatutka puolestaan tuottaa jatkuvaa maaperäprofiilia tutkimuskohteesta, joten se on kattava ja nopeutensa vuoksi kustannustehokas tutkimusmenetelmä. Kairauksella saatava tieto on luotettavampaa, mutta se ei ole maatutkaluotaukseen verrattaessa lähellekään yhtä kokonaisvaltainen otos linjan maaperästä.

Vesihuoltolinjan suunnittelun tueksi hankitaan maaperätietoa kahdesta pääsyystä. Ensinnäkin pyritään selvittämään kalliopinnan sijaintia linjalla. Tutkimusten avulla vesihuoltolinjan putkistot pyritään suunnittelemaan siten, että kalliota joudutaan louhimaan mahdollisimman vähän. Linjan sijaintia voidaan muuttaa tai asettaa putkistot lähemmäs maanpintaa eristyksen avulla, jos ilmenee että linjalla on kohtuuttoman paljon louhinnan tarvetta. Kalliopinnan louhinta on kallista ja hidasta, joten linjalla olevan kallion määrän tietäminen edesauttaa kustannustehokkaan suunnittelun tekemistä. Toinen pääsyy maaperätiedon hankintaan, on huomattavan pehmeät maastonkohdat ja niiden paksuuden vaihtelut. Pehmeissä kohdissa joudutaan turvautumaan kaivantojen tukemiseen ja pohja-arinoiden käyttöön ottoon. Jos vesihuoltolinja rakennetaan pehmeään maaperään, joudutaan kaivanto tukemaan sortumisuhan takia. Putkistot on myös asennettava pohja-arinoiden päälle liian pehmeissä maastonkohdissa. Tällä estetään putkien painuminen ja siitä aiheutuvat vauriot putkistoille. Edellä mainitut seikat lisäävät hankkeen kustannuksia, joten maaperätutkimusten avulla kyseiset ongelmakohdat pyritään tunnistamaan ja mahdollisuuksien mukaan välttämään. (Oravainen 2009)

3.1 Maatutkaluotaus

Maatutkaluotaus on koko ajan kehittyvä ja enenemässä määrin käytettävä geofysikaalinen tutkimusmenetelmä. Nykypäivänä maankamaran pintaosien ylimpiä metrejä hyödynnetään monin paikoin todella tehokkaasti. Tämä lisää tarvetta saada tarkkaa tietoa siitä, mitä maanpinnan alta löytyy. Maatutkaus menetelmänä sopii todella monialaisten kohteiden tutkintaan. Maatutkasovelluksia löytyy mitä erilaisimmista käyttökoh-teista aina paperikoneen telojen kuntotutkimuksista kalojen laskentaan kalaportaissa (Maatutkarengas ry 2000, 12-13). Tässä opinnäytetyössä keskityn kuitenkin maatutka-luotaukseen osana maaperätutkimuksia. Maaperätutkimuksissakin menetelmä tarjoaa useita erilaisia mahdollisuuksia riippuen siitä, minkälaisiin syvyyksistä maasta tietoa halutaan. Tarpeen mukaan voidaan tehdä esimerkiksi todella tarkkoja rakennetutki-muksia tierakenteesta tai likimääräisemmällä tarkkuudella useiden kymmenien metri-en syvyyteen ulottuvia sora-alue kartoituksia. Maatutkaluotaus antaa jatkuvan profiilin tutkattavasta maaperästä ja on maakerroksia rikkomattomana menetelmänä yksi kus-tannustehokkaimmista maaperän tutkimusmenetelmistä (Suomen geoteknillinen yh-distys r.y. 1991, 5-6). Vesihuoltolinjasuunnittelun kannalta olennaisin tieto mitä maa-tutkalla haetaan, on kallionpinnan sijainti. Myös muut maalajikerrokset tulevat näky-viin suunnitelmiin, mutta niiden vaikutus rakentamiseen on vähäisempää.

Ensimmäiset maatutkat tulivat Suomeen 1980-luvun alussa ja siitä lähtien menetelmän käyttökohteet ja kaluston määrä ovat lisääntyneet tasaisesti. Laitteet ovat kehittyneet huimasti tähän päivään mennessä, mutta itse luotauksen peruseriaate on pysynyt sa-mana. Menetelmän monipuolisuuden vuoksi laitemäärä varmasti kasvaa entisestään, sillä maatutka ei ole vain yhden ammattikunnan käyttämä erikoistyyökalu vaan se sopii useille eri ammattiryhmille (Maatutkarengas ry 2000, 5-13). Maatutkaa käytetään AIRIX Ympäristö Oy:ssä vesihuoltolinjojen ohella myös esimerkiksi katusuunnittelun maaperätutkimusmenetelmänä.

3.1.1 Maatutkaluotauksen teoreettiset perusteet

Maatutkan peruseriaate on melko yksinkertainen. Tutkalaitteessa kiinni oleva antenni lähettää väliaineeseen eli maaperätutkimuksissa maaperään lyhytkestoisen (1-6 nano-sekunnin) pituisen sähkömagneettisen pulssin radioaaltotaajuudella. Pulssi etenee

maaperässä noin valon nopeudella kohdaten väliaineessa sähköisiä rajapintoja. Osa etenevästä aaltoenergiasta heijastuu takaisin rajapinnasta ja osa jatkaa etenemistään. Maatutkassa kiinni oleva antenni mittaa takaisin heijastuneen aallon edestakaisin kulke-
 keman ajan ja amplitudin eli värähdyslaajuuden. Tutkaa kuljetettaessa eteenpäin tätä
 mittausta toistetaan nopeasti, jolloin syntyy peräkkäin mitattuja tulostussignaaleja eli
 pyyhkäisyjä. Tutkan mittaustiheyttä voidaan säädellä antennissa kiinni olevan mitta-
 pyörän avulla. Yleisesti vesihuoltolinjojen mittaustiheytenä käytetään 20 mittausta
 metrillä. Näin ollen tuloksena saadaan jatkuva profiili maaperässä olevista sähköisistä
 rajapinnoista. Näistä rajapinnoista voidaan tulkita myöhemmin maaperän eri maalaji-
 kerrosten rajat ja kallion sijainti maaperässä. (Suomen geoteknillinen yhdistys r.y.
 1991, 5-11; Annan 2003, 1)

Tärkeimmät aallon etenemisnopeuteen ja heijastumiseen vaikuttavat tekijät ovat väli-
 aineen dielektrisyys ja magneettinen susceptibiliteetti sekä sähkönjohtavuus. Dielekt-
 risyys kuvaa väliaineen kykyä polarisoitua eli varautua ulkoisen sähkökentän vaiku-
 tuksesta. Magneettinen susceptibiliteetti puolestaan tarkoittaa väliaineen magnetoitu-
 miskykyä. Sekä dielektrisyys että susceptibiliteetti vaikuttavat niin aallon etenemisno-
 peuteen kuin aallon vaimenemiseen. Mitä suurempia molemmat arvot ovat, sitä hi-
 taammin aalto kulkee väliaineessa. Vaimenemiseen ne puolestaan vaikuttavat siten,
 että dielektrisyysarvon kasvu pienentää vaimennusta ja susceptibiliteetin kasvu suuren-
 taa vaimennusta. Dielektrisyysarvon suuruus riippuu väliaineen vesipitoisuudesta ja on
 sitä suurempi mitä enemmän väliaineessa on vettä. Magneettisen susceptibiliteetin
 vaikutus näkyy vain runsaasti magnetoituvien kivilajien kohdalla. Se jätetäänkin
 yleensä huomioimatta muissa vähemmän magnetoituvissa väliaineissa. Sähkönjohta-
 vuus vaikuttaa oikeastaan vain aallon vaimenemiseen, mutta aallon heijastumiseen
 sillä ei ole juurikaan merkitystä. Sähköä hyvin johtavissa väliaineissa vaimeneminen
 on merkittävää. Esimerkiksi paljon vettä sisältävät savikot vaimentavat aallon kulkua
 ja silloin tunkeutumisvyvyys vähenee. Jos sähköisiä rajapintoja on väliaineessa run-
 saasti myös se heikentää maatutkauksen tunkeutumisvyvyttä. Jos väliaineen sähkön-
 johtavuus on pieni ja rajapintoja vähän, kuten ehjässä kalliossa aallon vaimeneminen
 on vähäisempää. (Maatutkarengas ry 2000, 6-9)

3.2 Muut AIRIX Ympäristö Oy:n käyttämät maaperätutkimusmenetelmät

Maatutkaluotauksen ohella pitkien vesihuoltolinjojen maaperätutkimuksissa käytetään AIRIX:n omaa tärykairaa kalliopinnan referenssikairauksiin sekä painokairaa linja-pumppaamoiden sekä muiden raskaampien rakennelmien maaperätutkimuksiin.

3.2.1 Tärykairaus

Suurin osa vesihuoltolinjoilla suoritettavista tärykairauksista tehdään Geo-Work Oy:n antamien referenssikairaussuositusten perusteella. He katsovat maatutkauksen perusteella epäselvät tai muuten tarkastusta vaativat kohdat tutkaprofiilista. Yleensä kairauspaikalla on tutkimuksessa näkynyt kallio 1-2 metrin syvyydessä, jolloin kairauksen perusteella saadaan varmennusta maatutkauksen antamaan tietoon. Yleensä kairaus suoritetaan maksimissaan noin kolmen metrin syvyyteen saakka, sillä pääsääntöisesti vesihuoltolinjat kulkevat lähempänä maanpintaa.

Tärykairalla isketään metrin pituisia ja 22 mm halkaisijaltaan olevia metallitankoja maahan. Tankojen uppoamisnopeudesta ja äänihavainnosta voi tehdä suurpiirteisiä arvioita kohdan maalajeista, mutta varmojen havaintojen tekeminen laitteella on hankalaa. Tärykairan pääasiallinen käyttötarkoitus on kalliopinnan paikallistaminen. AIRIX:lla on käytössään suhteellisen kevyt polttomootorilla toimiva tärykaira. (Ala-Laurila 2007, 32-33)

Tärykairalla tehtävät maaperätutkimukset soveltuvat kohtalaisen hyvin kalliopinnan havainnointiin. Runsaskivisessä maaperässä tosin on vaarana kairausten pysähtyminen kiviin. Tällaisissa kohdissa ainoa varma menetelmä kalliopinnan todentamiseksi on porakonekairaus. Se on menetelmänä kuitenkin selvästi hitaampi tärykairaukseen verrattaessa. Myös porakonekairauksen kalusto on sen verran kallista ja järeää ettei se sovellu maatutkaluotauksen tarkekairauskalustoksi. Tärykairaus on menetelmänä nopeaa ja kalustoltaan kevyttä, joten se on paras vaihtoehto maatutkaluotauksen tueksi tehtäville tarkistuskairauksille.

3.2.2 Painokairaus

Painokairaus on tärykairausta tarkempi maaperätutkimusmenetelmä. Painokairaus on suhteellisen pehmeisiin ja kivettämiin maakerroksiin soveltuva maaperätutkimusmenetelmä, jolla voidaan selvittää kantavan kerroksen sijainti, tiiviydeltään erilaisten maakerrosten rajat, maakerrosten tiiviys likimäärin ja jonkinlainen arvio maalajeista. Kalliopinnan sijaintia ei voida luotettavasti selvittää painokairauksella, koska painokairalla ei yleensä päästä kallion yläpuolella usein olevan tiiviin ja kivisen moreenikerroksen läpi. Maalajikerrokset määritetään 20 cm tarkkuudella (Ala-Laurila 2007, 33-34). AIRIX:lla on käytössään kaksi suhteellisen kevyttä kannettavaa painokairaa, joita käytetään kohteissa, joissa tarvitaan tarkempaa tietoa maaperän laadusta. Sellaisia ovat muun muassa jätevedenlinjapumppaamoiden paikat, joiden perustamistapaa suunniteltaessa tarvitaan tarkempaa tietoa maaperäolosuhteista, mitä maatulvakuilutuksella ja tärykairauksella saadaan.

4 MAAPERÄTUTKIMUSTEN KULKU AIRIX YMPÄRISTÖ OY:N VESIHUOLTOLINJASUUNNITTELUSSA

Vesihuoltolinjan maaperätutkimukset alkavat linjan maastoon merkitsemisellä. Paalutus suoritetaan siten, että linjan kulkusuunnan tasolla ja korkeussuunnassa tapahtuvat taitekohdat paalutetaan. Paalutus tehdään kuitenkin niin tiheästi, että edelliseltä paalulta on näköyhteys seuraavalle paalulle. Paalut ovat pääsääntöisesti puisia ja noin metrin mittaisia. Paalutuksen tarkoituksena on saada sidottua maatulvakuilutusprofiili paalujen avulla johtolinjojen pituusleikkauksiin.

Paalut mitataan tilaajan haluamaan koordinaatistoon. Yleensä mittaus suoritetaan kartastokoordinaattijärjestelmään (KKJ) ja korkeusjärjestelmään N60. Paalujen mittauksen ohella mitataan linjalta myös hajapisteitä eli pintapisteitä, joilla tarkennetaan maaston pinnan muotoja. Paalutus pitäisi periaatteessa osua jokaiseen taitteeseen linjalla, mutta käytännön syistä paalutus on tehtävä harvempaan. Useiden kilometrien linjoilla jokaisen pienen ojan tai muun taitteen paalutus olisi liian työlästä. Tämän vuoksi tulkittujen kerrosrajojen sijainnissa saattaa esiintyä virheitä tulkin sidonnasta johtuen. Profiilille voidaan kylläkin lisätä pisteitä paalujen väliin tarvittaessa maas-

tonpinnanmuotojen tarkentamiseksi. Käytännössä lisäpisteitä ei kuitenkaan lisätä, vaan tulkinta pyritään sitomaan maastossa oleviin paaluihin.

Maatutkaluotaus voi alkaa heti kun linja on paalutettu. Maatutkaluotauksessa suunniteltava johtolinja kävellään läpi maatutkan kanssa, jolloin saadaan jatkuvaa tutkimusprofiilia linjalta. Paalujen koordinaattitietoa tarvitaan vasta kun linja on tutkattu ja saatua tutkimusaineistoa ruvetaan tulkitsemaan. Tulkinnan perusteella tuloksena saadaan paalulinjan pituusleikkaus, johon on paalujen avulla sidottu tutkimusdatasta saatava tieto maalajikerroksista. Tämän jälkeen Geo-Work toimittaa AIRIX:lle pituusleikkaukset, joissa on paalutuksen pituusleikkaus sekä tutkimuksen tuottamat tiedot maalajeista ja kalliopinnan sijainnista linjalla (LIITE 1). Mukana toimitetaan tekstitiedostot, joissa on koordinaattitiedot eri maalajirajoista sekä kalliopinnan sijainnista (LIITE 2). Tiedosto ajetaan AIRIX:n käyttämään YTCAD-suunnitteluohjelmistoon, jolla vesihuoltokohteiden pituusleikkaussuunnittelu tehdään (LIITE 3). Tulkitut maalajirajat ja kalliopinnot piirtyvät viivamaisina kohteina pituusleikkauksiin.

Maatutka-aineiston tulkinnan tekijä ehdottaa linjalta muutamia referenssikairauspisteitä kohdista, joissa tulkinnan perusteella ei saada selkeää kuvaa maaperän laadusta tai kalliopinnan sijainnista. Kun referenssikairaukset on saatu suoritettua, tiedot kairaus-tuloksista pitäisi saattaa maatutkausaineiston tulkitsijalle, jotta tämä voisi tehdä tulkin-taan tarvittavia korjauksia. Suunnittelijoilta saamani tiedon perusteella tämä käytäntö ei ole vakiintunut vaan AIRIX:n suunnittelijat usein itse korjaavat kairauskohdissa olevat virheet tulkinnessa. Olisi kuitenkin suotavaa, että referenssikairaustiedot annettaisiin Geo-Workille ja he voisivat tehdä tulkinnan tarkistuksen itse. Tämä siitä syystä, että kairauksista saatava tieto voi muuttaa tulkintaa laajemminkin kuin vain kyseisten kairauspisteiden kohdalta. Referenssikairaustietojen toimittaminen tulkinnan tekijälle jää useimmiten tekemättä suunnitteluhankkeiden kiireellisten aikataulujen vuoksi.

AIRIX Ympäristö Oy:n pitkissä vesihuoltolinjasuunnitelmissa käytetään useimmiten kolmea eri maaperätutkimusmenetelmää: maatutkaa, tärykairaa ja painokairaa. Pääsääntönä voidaan pitää, että ensin linja maatutkaluodataan. Sen jälkeen suoritetaan tärykairalla tutkimuksen perusteella tarvittavat kalliopinnan tarkekairaukset ja painokairalla linjapumppaamoiden tai muiden vastaavien raskaampien rakennelmien maa-

perätutkimukset. Myös erityisen pehmeillä alueilla voi olla tarpeen suorittaa painokairauksia. (Hyypiä 2008)

4.1 Vesihuoltolinjan maatulkuotuksen maastotyön kulku

Maastotöihin valmistautuminen alkaa tutka-alueeseen tutustumisella. Karttatarkastelun perusteella voidaan paikallistaa linjat ja hakea muut tarvittavat lähtömateriaalit. AIRIX:lta lähetetään Geo-Work:lle karttaote pdf-muodossa suunnitellusta vesihuoltolinjasta. Karttaotteella näkyy pohjakartan päälle piirretty linja, jolta maatulkuotus halutaan. Ennen tutkauksen aloittamista Geo-Work:llä tutustutaan alueen maastoon Maanmittauslaitoksen karttapaikalta löytyvien maastokarttojen avulla (LIITE 4). Geologian Tutkimuskeskuksen tuottamat maaperäkartat ovat myös hyvää pohjatietoa alueen maaperäolosuhteista ja niihin tutustutaan jo ennen maastoon menemistä (LIITE 5). Joskus on myös hyvä käydä paikan päällä katsomassa yleissilmäys maastossa ennen tutkauksen aloitusta. Silloin pystyy paremmin suunnittelemaan tutkauksen kulun ja arvioimaan siihen kuluva aika.

Vesihuoltolinjoja tutkattaessa Geo-Work Oy käyttää SIR-3000-maatulkaa ja 270 MHz:n maavasteantennia (KUVA 1). Itse tutkalaitteisto kiinnitetään kantohihnaan tai repun olkaimiin, jotta koko ajan kuljettaessa pystytään seuraamaan tutkan näytölle piirtyvää tutkaprofiilia sekä käyttämään tutkassa olevia näppäimiä. Tutka liitetään perässä vedettävään maavasteantenniin, jossa on kiinni matkaa mittaava mittapyörä.



KUVA 1 Vesihuoltolinjan maatutkaluotaus käynnissä

Tutkaus tapahtuu paalutettua linjaa pitkin ja aina paalun luona tutkaprofiilille painetaan merkki. Näin laitteen muistiin tallentuu linjan tutkausprofiili ja linjalla sijainneet paalut. Paalut on numeroitu ja tutkaaja pitää itse kirjaa koko ajan paalunumeroista tutkatessaan. Samalla pidetään myös kirjaa maastossa tehtävistä näköhavainnoista, jotka helpottavat toimistolla tehtävää tulkintatyötä. Esimerkiksi lähistöllä olevat avokalliot antavat tulkitsijalle selvän viitteen siitä, että kallio voi kulkea melko pinnassa myös tutkattavalla linjalla. Kuten kuvasta 1 voidaan havaita, tutkan ja antenniyksikön kanssa on mahdoton kulkea aivan vaikeammissa maastokohteissa ja sen vuoksi tutkaus joudutaan tekemään hieman sivusta paalutetulta linjalta. Antenniüksikön liikuteltavuuteen olisi kyllä mahdollisuuksia tehdä parannuksia, jonka ansiosta pystyttäisiin paremmin pysymään halutulla linjalla. Pieni poikkeaminen sivusuunnassa ei yleensä juurikaan vaikuta tutkaustiedon oikeellisuuteen kunhan kuljettu reitti on korkeusasemaltaan samassa tasossa suunnitellun vesihuoltolinjan kanssa. Paalutettu linja kuljetaan läpi tutkan kanssa sitoen tutkaprofiili maastossa oleviin paaluihin. Tutkauksen etenemisnopeus riippuu paljon kuljettavasta maastosta. Karkeasti voidaan sanoa, että maatutkaluotausta saadaan jalkaisin normaalimaastossa tehtyä noin 3-5 kilometriä

työpäivässä. Tutkausta pystyy jatkamaan siitä mihin edellisellä kerralla jäätiin, joten koko linjaa ei tarvitse kerralla yrittää tehdä. Linjalta tallennetulle tutkausdatalle ei maastossa tehdä sen enempää vaan itse tutkaprofiilin tulkinta tehdään toimistotyönä. (Clifford 2008/2009; Pollari 2008/2009)

4.2 Vesihuoltolinjan maatutkaluotauksen tulkinta

Tietotekniikan nopea kehitys on edesauttanut maatutka-aineiston käsittelyä. Nykyisillä välineillä onnistuu myös suurten aineistojen muokkaus, prosessointi, tulkinta ja tulosten esittäminen. Maastossa kerätyn tutkausdatan käsittely ja tulkinta alkaa tiedon siirtämisellä maatutkalaitteelta tietokoneelle. Aineiston alkukäsittelyllä pyritään poistamaan lähtöaineiston häiriöitä, jotta varsinaista tulkintaa päästäisiin tekemään mahdollisimman virheettömästä aineistosta. Tietokoneella tehtävä tulkinta tapahtuu Roadscannerin kehittämällä Geo Doctor-ohjelmistolla. Ohjelma on suunniteltu pelkästään maatutkadatan käsittelyä ja tulkintaa varten. Vesihuoltolinjan tutkauksen ja tulkinnan tavoitteena on saada lopputuloksena paalutetun linjan pituusleikkaus, jossa näkyy selkeimmät maalajirajat sekä kalliopinnan sijainti (LIITE 1). AIRIX Ympäristö Oy on toimittanut ennen tulkinnan aloitusta maastossa olleiden paalujen mitatut koordinaattitiedot. Koordinaatit syötetään ohjelmaan oikeille paikoilleen profiilissa näkyvien merkkien kohdalle, jotka tehtiin maastossa jokaisen paalun kohdalla. Koordinaattien antama paalujen välimatka ei yleensä aivan täsmää mittapyörän antamaan paaluvälin matkaan jolloin ohjelma tasoittaa eli interpoloi kunkin paaluvälin tutkausdatan koordinaattitiedon mukaisiksi väleiksi. Tämän jälkeen jokaisesta linjasta luodaan oma projekti ja annetaan linjalle ohjelman tarvitsemat tiedot. Tämän jälkeen voidaan aloittaa profiilin tulkinta. Tulkinnassa pyritään saamaan selville kallion pinta, märät turve- ja savialueet sekä siltti-, hiekka-, moreenikerrostumat ja niiden sekoitukset. (Clifford 2008/2009; Pollari 2008/2009)

Tutkausdatan tulkinta on maatutkaluotausprosessin vaativin ja eniten ammattitaitoa ja kokemusta vaativa vaihe. Tulkinnan tavoitteena on määrittää tutkaprofiilissa näkyvät maalajikerrosten ja kalliopinnan rajat sekä niiden syvyydet. Tutkauprofiilia analysoitaessa ensimmäiseksi pyritään todentamaan näkyvien heijasteiden alkuperä eli ovatko profiilissa näkyvät rajapinnat todellisia kerrosrajoja maaperässä vai ovatko ne jonkin häiriön aiheuttamia. Häiriöitä aiheuttavat esimerkiksi lähellä olevat sähkölinjat sekä

pelloilla levitettävä urea ja muut lannoitteet. Lannoitteet kasvattavat sähkönjohtavuutta väliaineessa, mikä taas aiheuttaa sen, että maahan lähetetyt pulssit eivät heijastu takaisin vastaanottimeen. Sama ilmiö tapahtuu myös suolattujen teiden läheisyydessä. Todella märkien savikoiden kohdalla profiilin tulkinta aiheuttaa haasteita, sillä veden suhteellisen määrän lisääntyminen väliaineessa kasvattaa dielektrisyttä merkittävästi. Tämän johdosta profiilista tulee puuomainen ja selvien rajapintojen havaitseminen on hankalaa. Tulkinnassa annetaan maaperälle dielektrisyysarvo eli Er-arvo, jonka suuruus riippuu maaperän vesipitoisuudesta. Geo-Work käyttämä Er-arvo vaihtelee irto- maapeitteillä viiden ja kahdenkymmenen välillä. Maaperän kosteuspitoisuuden kasvassa Er-arvo kasvaa. Suurin Er-arvo on vedellä, 81. (Clifford 2008/2009; Pollari 2008/2009)

Tulkinnassa profiilissa näkyvät rajapinnat merkitään piirtämällä rajapinnalle viiva sen mukaan miten rajapinta kulkee. Tämän jälkeen seuraa tulkinnan tärkein ja vaikein vaihe eli minkä kahden maa-aineksen rajapinnasta on kyse. Maallikonkin on helppo löytää profiilista selkeimmät rajapinnat, mutta niiden tulkinta oikeaksi maalajiksi tekee tulkinnasta haasteellisen. Tulkintaohjelmassa on mahdollisuus tehdä erilaisia vahvistuksia sen mukaan, mistä kohdasta profiilia tulkintaa ollaan tekemässä. Jos halutaan selventää pinnassa kulkevia rajapintoja, voidaan niitä vahvistaa siten, että samalla syvemmällä kulkevat rajapinnat muuttuvat epäselvemmiksi ja toisinpäin. Lopputuloksesta syntyy pituusleikkauskuva, jossa näkyy paalutuksen mukainen maanpinnan pituusleikkaus sekä maalajikerrosten rajat. Kuvan alareunassa näkyy myös tutkaprofiili, josta tulkinta on tehty. Samalla saadaan tekstimuotoiset tulkintatiedostot, jotka voidaan ajaa cad-sovellukseen. (Clifford 2008/2009; Pollari 2008/2009)

4.3 Geo-Work Oy:n maatutkakalusto

Maatutkia valmistaa usea eri laitevalmistaja pääasiassa Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Maatutkaluotaukset AIRIX Ympäristö Oy:lle tekevä Geo-Work Oy on aloittanut toimintansa jo 1980-luvulla, joten vuosien saatossa heillä on ollut käytössään useita erilaisia maatutkakalustoja. Tällä hetkellä heillä on käytössään kolme GSSI:n valmistamaa SIR-3000 maatutkalaitteistoa sekä yksi SIR-2 maatutkalaitteisto. Tämän lisäksi kalustoon kuuluu useita eri taajuuksisia antennejä. Maatutkauksessa käytettävien maavasteantennien taajuusalue vaihtelee 16 MHz:sta 2600 MHz:iin. Il-

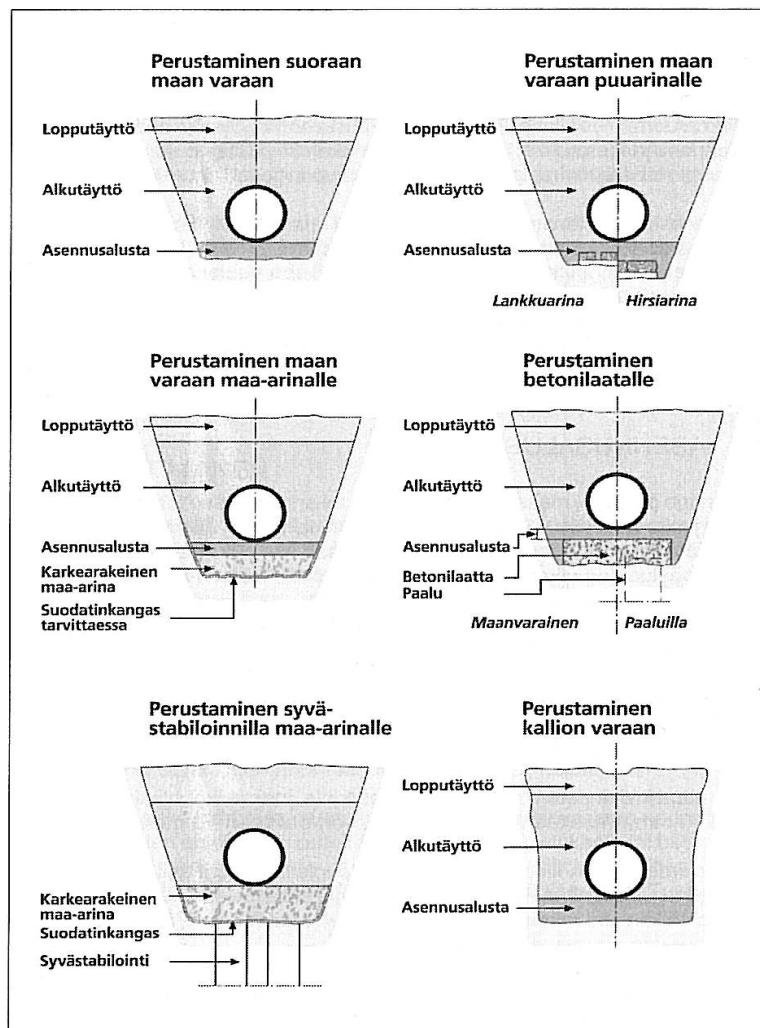
maavasteantennien taajuudet ovat yleensä suurempia ja voivat olla jopa yli kaksi gigahertsiä (Saarenketo 2006, 19). Antennin taajuuden kasvaessa syvyysulottuvuus pieneenee. Taajuuden kasvaessa kuitenkin tarkkuus ja rajapintojen erottelukyky paranevat. Vesihuoltolinjoja tutkattaessa Geo-Work Oy käyttää nykyään pääsääntöisesti 270 Mhz:n taajuisia antennia. Kyseisellä antennilla saadaan tietoa maaperästä noin viiden metrin syvyyteen asti ja rajapintojen erotuskyky on 10-20 senttimetrin luokkaa. Ennen 270 Mhz:n antennin hankkimista Geo-Work Oy käytti vesihuoltolinjamittauksissa 100Mhz:n maavasteantennia. (Clifford 2008/2009; Pollari 2008/2009)

5 MAAPERÄN VAIKUTUS VESIHUOLTOLINJAN RAKENTAMISEEN

Maaperätutkimusten tarkoituksena on saada selville suunnittelualueella olevan maaperän laatu. Tietämällä maaperän eri kerrokset sekä niiden syvyydet jo suunnitteluvaiheessa, voidaan suunnitelmat laatia siten, että vältetään turhilta kustannuksilta sekä suunnitelmat voidaan kohdentaa mahdollisimman vähän ympäristöä vaurioittaviksi. Vesihuoltokohteiden maaperätutkimuksien tärkein tavoite on saada selville linjalla sijaitsevat kalliokohteet ja isot kivet, jotka vaativat louhintaa. Maaperätietoa tarvitaan yleensä maksimissaan neljään metriin maanpinnasta alaspäin. Paineistetut vesihuoltolinjat rakennetaan pääsääntöisesti alle kolmen metrin syvyyteen maanpinnasta ja viettoviemäritkin vain harvoin neljää metriä syvemmälle. Jos linjalle osuu kalliota ja se tiedetään jo suunnitteluvaiheessa, voidaan linjaa tarpeen mukaan vielä siirtää. Jos linjan siirto ei ole mahdollista, pystytään kustannusarvioissa kuitenkin varautumaan kalliiseen louhintaan. Vesihuoltolinjalla tehtävä kanaalilouhinta maksaa noin 35 euroa/kuutio. Tavalliseen kaivettavaan maaperään upotettavan putken kaivuu- ja täyttö-kustannukset ovat noin 5 euroa/kuutio. Kun otetaan hintavertailussa vielä huomioon kalliokanaalin täyttö kustannukset, muodostuvat louhittavaan kallioon upotettavan putken rakennuskustannukset lähes kymmenkertaisiksi verrattaessa tavalliseen maaperään. Louhintamäärät lasketaan kustannusarvioon suunnitteluohjelmisto YTCAD:n massalaskentatoiminnolla pituusleikkauskuvista.

Yksi mahdollisuus on myös asentaa putkat lähemmäs maanpintaa, jos kallio estää asentamisen normaalisyvyyteen. Silloin putket joudutaan eristämään jäätyminen ja routavaurioiden uhan vuoksi. Eristäminenkin aiheuttaa lisäkuluja sillä se maksaa noin 20 euroa/neliömetri.

Toinen tarpeellinen tieto maaperästä kallion ohella on erityisen pehmeät maastonkohdat sekä pohjaveden syvyys. Pehmeässä maaperässä vesihuoltolinjakaivannon tekeminen vaatii erityistoimenpiteitä rakennusaikaisen kaivannon tukemisen suhteen. Pehmeissä kohdissa on myös vaarana aja mittaan tapahtuva putkien painuminen ja vaurioituminen, jos niille ei ole rakennusvaiheessa tehty riittävän kantavaa asennusalustaa. Erityisesti märillä savikoilla ja turvealueilla maaperän kantavuus varsinkin isojen putkien alla on otettava huomioon. Myös lähellä maanpintaa kulkeva pohjavedenpinta voi aiheuttaa ongelmia kaivannon tekemisessä. Jos näistä on varmaa tietoa jo suunnittelu- vaiheessa, voidaan suunnitelmiin kirjata maininta asiasta, jotta urakoitsija pystyy varautumaan mahdolliseen kaivannon tukemiseen tai pohjanvahvistamiseen. Kuten kuvasta 2 näkyy, on putkijohdoille useita perustamismenetelmiä maaperän kantavuudesta riippuen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2005, 18-20)



KUVA 2 Putkijohdojen ohjeellisia perustamismenetelmiä (RIL)

Vesihuoltosuunnittelun tukena tehtävissä maaperätutkimuksissa saadaan selville usein myös muita maalajikerrostumia, kuten hiekka-, moreeni- ja silttikerrostumia. Kyseiset maalajit eivät kuitenkaan juurikaan vaikuta vesihuoltolinjan suunnitteluun tai rakentamiseen. Niihin kaivettaessa ei tarvitse tehdä mitään erityisjärjestelyjä putkien asentamisen tai kaivannon suhteen, mikäli asennussyvyys säilyy kutakuinkin normaalina.

6 TARKKUUSTARKASTELUN ESIMERKKIKOhteet

Maatutkaluotausaineiston tarkkuuden analysoimiseksi valittiin kuusi esimerkkikohtetta. Kohteet ovat vesihuoltolinjoja, jotka ovat suunniteltu AIRIX Ympäristö Oy:n toimesta ja maatutkaluotaukset on suorittanut Geo-Work Oy. Esimerkkikohteet ovat jo rakennettu, jolloin pystytään vertailemaan suunnitelmissa olevia maaperätietoja rakennuspaikalla tehtyihin havaintoihin. Kohteissa on pidetty erilaisia kirjanpitoja maaperätietojen oikeellisuudesta, pääasiassa koskien louhintaa vaativia paikkoja. Tämän vuoksi täysin yhdenmukaisen vertailun tekeminen eri kohteiden välillä ei onnistu, mutta selvityksen tarkoituksena onkin tuottaa suuntaa antava näkemys maatutkaluotauksen paikkansapitävyydestä kyseisissä kohteissa.

6.1 Padasjoki-Asikkala vesihuoltolinja

Padasjoki-Asikkala vesihuoltolinja sisältää yhdysvesijohdon ja siirtoviemärin Padasjoen keskustan ja Asikkalan rajan välillä sekä sivuhaaran Maakesken kylään. Linjojen pituus on noin 17,5 kilometriä ja ne suunniteltiin vuosien 2006 ja 2007 aikana. Itse maatutkaluotaus suoritettiin loka-marraskuun vaihteessa 2006. Tutkausolosuhteet olivat varsin talviset ja maanpinta oli paikoin paksun lumikerroksen peittämä, mikä aiheuttaa omat haasteensa tulkinnan tekoon. Linja koostuu noin 15 kilometriä pitkästä päälinjasta sekä noin 2,5 kilometriä pitkästä sivuhaarasta. Yleiskartta linjoista on työn liitteenä (LIITE 6), josta löytyy myös linjojen numerointi. Päälinja koostuu linjoista 1-2 ja 2-3 sekä sivuhaara linjasta 1.1-1.10. Tässä kohteessa käytettiin järjestystä, jossa maatutkaluotauksien tulkinnan jälkeen tehdyt tarkekairaustiedot annettiin tulkinnan tekijälle, jolloin pystyttiin tekemään tulkinnantarkastus. Linjojen maatutkatietojen tarkastelussa on siis pystytty vertaamaan maatutkaustulkintaa ennen ja jälkeen tarkekairausten. Linjan rakennustyöt tehtiin talvella 2007/2008 Destia Oy:n toimesta. Maaperätietojen tarkastelu perustuu Destia Oy:n työmaapäällikkö Jouni Viitasen haastatteluun ja hänel-

tä saatuihin kirjallisiin dokumentteihin sekä AIRIX Ympäristö Oy:n suorittamiin tarkkairautietoihin. (Viitanen 2008)

6.1.1 Päälinjan maatulkuutuksen tarkastelu

Kyseissä kohteessa maatulkuutuksen antamaa maaperätietojen tarkkuutta voitiin analysoida melko tarkasti, sillä urakoitsijan puolelta toimitettiin päälinjalta listaukset louhintamääristä ja asennetuista lämpöeristeistä sidottuna pituusleikkausten paalulukemiin. Näin ollen pystyttiin tehty louhinnat ja lämpöeristeet sijoittamaan pituusleikkauksiin ja vertailemaan niitä maatulkuulla saatuihin kalliokohtiin. Linjalta oli myös tarkkairautiedot. Kairauksia oli tehty linjalla 15 kappaletta

6.1.1.1 Maatulkuutuksen vertailu kairautietoon

PAALU NRO	MAATUTKALUOTAUS	KAIRAUUS	EROTUS
2	1.0m KA	2.5m MS	1.5m
36	1.5m MR/KA	2.4m KL	0.9m
47	1.0m KA	1.4m KL	0.4m
51	2.0m KA	1.9m KL	0.1m
68	0.75m MR/KA	1.0m KL	0.25m
80	1.0m MR/KA	1.9m KL	0.9m
82	1.0m MR	1.0m KL	0m
83	1.5m MR	2.0m KL	0.5m
90	2.0m KA	2.1m KL	0.1m
143	1.6m KA	1.2m KL	0.4m
200	0.75m KA	2.5m MS	1.75m
227+30m	1.8m KA	2.5m MS	0.7m
238-10m	0.8m KA	1.0m KL	0.2m
253	1.5m KA	2.5m MS	1.0m
264	0.5m MR	0.8m KL	0.3m

KA=kallio KL=kivi tai kallio MS=määräsyvyys MR=moreeni

TAULUKKO 1 Maatulkausaineiston ja kairautietojen vertailu päälinjalla

Tarkekairauten tarkoituksena olisi parantaa maatulkatulkinnan tarkkuutta ja antaa varmistusta kyseisen kohdan maaperäolosuhteista. Taulukossa 1 näkyvän paalun 264 kohdalla on kuitenkin käynyt juuri päinvastoin. Paalulla maaperä on tulkittu alun perin moreeniksi, mutta tulkitsija on halunnut varmistuksen asiasta kairauksella. Kairaus on pysähtynyt 0,8 metriin ja päättymistavaksi on merkitty kivi/kallio. Tulkinnan tarkistuksessa kohta on kairauksen perusteella korjattu kallioksi. Louhintayhteenvedon perusteella kohdassa ei kuitenkaan ole jouduttu turvautumaan louhintaan. Kohta on siis

ollut moreenia, jossa kairaus on pysähtynyt kiveen. Tarkekairauksissa olisi hyvä ottaa toinen kairaus läheltä, jos epäillään kairauksen pysähtyneen kallioon. Jos toinen läheltä otettu kairaus on päättymissyvyydeltään samaa luokkaa ensimmäisen kanssa, voidaan päätellä kyseessä olleen todennäköisesti kallio. Mikäli taas päättymissyvyys eroaa huomattavasti toisesta läheltä otetusta, voidaan päätellä kohdan olevan todennäköisesti kivistä maaperää. Tarkekairausten suorittaminen tärykairalla on suhteellisen nopeaa, koska kairausta ei tarvitse ulottaa yli kolmen metrin syvyyteen kuin aivan poikkeustapauksissa. Täten olisi suotavaa suorittaa pisteen läheltä lisäkairauksia, joissa kairaus pysähtyy määräsyvyyteen. Useimmiten tärykairauksen päättymistavan arviointi on varsin vaikeaa. Lisäkairauksilla saadaan varmuutta kairauksen päättymistavan oikeellisuudesta, joka on ensiarvoisen tärkeää. Väärä tarkekairauksen päättymistapa vain heikentää maatulkatulkinnan oikeellisuutta vaikka kairausten vaikutus pitäisi olla aivan päinvastainen.

Paaluilla 253, 200 ja 2 tarkekairauksilla on saatu tarkennettua maatulkatulkintaa. Kohdissa epäilty kallio onkin kairauksissa osoittautunut vain tiiviiksi moreeniksi kairausten päättyessä määräsyvyyteen. Kyseisillä kohdilla tarkekairauksista saatu tieto on tarkentanut maatulkatulkintaa.

Paaluilla 36 ja 80 ei ole alkuperäisessä tulkinnassa osattu sanoa onko profiilissa näkyvä tiivis kerros moreenia vai kalliota. Tarkekairauksilla on saatu varmistettua, ettei kyseinen rajapinta ole kalliota vaan todennäköisesti tiivistä moreenia. Moreenikerroksen alta on löytynyt kairausten mukaan kallio, mutta noin metrin syvemmältä kuin maatulkatulkinnan mukainen rajapinta. Muissa tarkekairauspisteissä alkuperäisen maatulkatulkinnan ja kairausten antaman tiedon ero on vain muutaman kymmenen sentin luokkaa. Se on aivan riittävä tarkkuus, sillä menetelmällä ei tässä muodossaan voidakaan saada senttitarkkaa tietoa. Senttitarkka maatulkatieto vaatisi sekä maatulkatulkinnan tarkempaa sitomista että optimaalisia tutkausolosuhteita.

6.1.1.2 Maatulkaluotauksen vertailu louhinta- ja lämpöeristystietoihin

Toinen menetelmä kyseisen kohteen maatulka-aineiston tarkkuuden tarkasteluun kairatiedon ohella on louhinta- ja lämpöeristysyhteenvedot. Jokaisen louhintakohdan käyminen läpi yksitellen ei ole tässä työssä tarkoituksenmukaista vaan ne käydään läpi

kokonaisvaltaisemmin. Louhintoja tarkasteltaessa otetaan huomioon ainoastaan louhittavien osuuksien pituudet eikä louhintasyvyyskä. Urakoitsijan toimittamissa louhintatiedoissa oli myös merkitty louhintasyvyyskä, mutta niiden vertailu maatulkatietoihin on hankalaa. Tämä siitä syystä, että jälkikäteen on mahdoton tietää onko urakoitsija sijoittanut putket siihen syvyyteen, johon ne suunnitelmissa on merkitty. On mahdollista että urakoitsija on esimerkiksi asentanut putket lähemmäs alkuperäistä maanpintaa, mutta on tehnyt linjalla maantäyttöö jotta tarvittava asennussyvyys toteutuu. Muutenkin maatulkaluotauksen tärkeimpänä tarkoituksena on saada tieto kohdista, joissa joudutaan turvautumaan louhintaan eikä antaa senttitarkkaa tietoa kallion sijainnista.

Linjalla tehtiin louhintaa yhteensä 342 metrin matkalla. Suunnitelmissa oli merkitty kallio osuuksia kaikkiaan lähes 600 metriä, mutta osa niistä on hoidettu eristämällä. Suunnitelmissa olevia louhittavia kallio-osuuksia oli lähes tarkalleen saman verran kuin toteutuneissa louhinnoissa. Eroavaisuuksia puolestaan syntyy siinä, täsmäkö louhittavat osuudet maatulalla saatujen kalliokohtien kanssa. Linjalla oli 278 metriä sellaista louhintaa, jossa maatulkatulkintaan oli merkitty kalliota. Jäljelle jääneet 64 metriä tehtyä louhintaa osui sellaisiin kohtiin, joissa ei maatulalla ollut tulkittu kalliota. Suunnitelmissa oli myös 65 metriä maatulalla tulkittua kallio-osuutta, jossa ei ole tehty louhintaa eikä lämpöeristystä. Osa tästä matkasta voinee selittyä sillä, että aivan linjan lopussa oli pitkä kallio-osuus, jossa oli jo ennestään rakennettu vesijohto. Uudet putket on siis todennäköisesti asennettu samaan kalliokanaaliin, jossa vanhat putket sijaitsivat.

Lähellä päälinjan loppupäätä on suunnitteilla kevyenliikenteenväylä, joka rakennetaan vesihuoltolinjan päälle. Väylällä on suoritettu tarkempia maaperätutkimuksia, muun muassa otettu maaperänäytteitä. Kyseisten näytteiden perusteella voidaan todeta, että linjalle tulkitut savi ja hiekka kerrokset pitivät hyvin paikkansa.

Lämpöeristystä oli suunnitelmiin laitettu yhteensä 420 metrin matkalle. Rakennusvaiheessa lämpöeristettä asennettiin 550 metrin matkalle.

6.1.2 Sivuhaaran maatulkuotuksen tarkastelu

Sivuhaarasta ei ollut saatavissa samanlaista kirjanpitoa louhintamääristä ja lämpöeristeistä kuin päälinjalta. Tarkastelu perustuu ainoastaan tarkekairaustietoihin. Sivuhaaralla suoritettiin tarkekairauksia viisi kappaletta. Tärykairalla tehdyistä kairauksista ei voi oikeastaan tarkastella kuin kalliopinnan sijainnin tarkkuutta. Kaksi kairauspistettä on otettu sellaisista kohdista, joissa ei maatulkatulkinnan mukaan ole kalliota. Ne on mitä luultavimmin otettu varmuuden vuoksi paikoista, joissa tulkinnan tekijä on ollut epävarma tulkitseeko kohteen kallioksi vai tiiviiksi irtomaa-ainekseksi.

PAALU NRO	MAATUTKALUOTAUS	KAIRAUS	EROTUS
224.6 -8m	1.3m KA	1.5m KL	0.2m
224.8 +20m	HkSR	1.8m KL	-
224.20 -5m	1.2m KA	1.1m KL	0.1m
224.29 +13m	1.3m KA	2.2m KL	0.9m
224.48	MR	1.9m MS	-

KA=kallio KL=kivi tai kallio MS=määräsyvyys MR=moreeni HkSr=hiekkainen sora

TAULUKKO 2 Maatutka-aineiston ja kairaustietojen vertailu sivuhaaralla

Taulukosta 2 voidaan havaita, että sivuhaaran osalta maatulka-aineisto on varsin hyvin osunut kohdalleen verrattaessa tarkekairauksista saatuihin tietoihin. Ainoastaan piste 224.29 +13m ei täsmää kairaustiedon kanssa. Kyseinen virhe voi mahdollisesti johtua siitä, että kallion päällä oleva tiivis maakerros on tulkittu myös kallioksi. Muissa pisteissä ei voi pelkän kairaustiedon perusteella sanoa olevan juurikaan heittoja.

6.1.3 Yhteenveto maatulkuotuksen tarkkuudesta

Maatulkuotuksen antaman maaperäinformaation oikeellisuuden tarkasteleminen on kyseisessä kohteessa melko haastavaa. Sivuhaaran osalta ei urakoitsijalta saatu minikäänlaista tietoa, joten sen tarkastelu jäi vain kairaustietojen varaan ja on siten varsin suppea. Sivuhaaran maatulkuotuksen voidaan todeta osuneen varsin hyvin kohdilleen yhtä pistettä lukuun ottamatta. Päälinjalla oli paremmat lähtötiedot tarkastelun tekemiseen. Kairaustiedoista voidaan todeta, että viidestätoista kairauksesta kuusi erosi yli puoli metriä alkuperäisestä tulkinnasta. Parhaan vertailun pääsi tekemään louhinta- ja lämpöeristystietojen perusteella.

Louhittu kaikkiaan	342 metriä
Louhinta- ja maatutkatieto täsmäävät	278 metriä
Louhittu, muttei näkynyt maatutkalla	64 metriä
Näkynyt maatutkalla, muttei louhittu	65 metriä

TAULUKKO 3 Louhintatietojen vertailu rakennusaikaisiin havaintoihin

Taulukosta 3 voidaan todeta, että linjoilla louhitusta osuudesta yli 80 % on näkynyt maatutkaluotauksella. Kyseisessä kohteessa maatutkaluotaus on osunut hyvin kohdalleen. Kuutiomääriä tarkasteltaessa kustannusarvioon saatu louhintaennuste oli 1000 kiintokuutiometriä kun taas rakennusvaiheessa oli louhittu todellisuudessa hieman vähemmän, vain 702,9 kiintokuutiometriä. Yläkanttiin mennyt louhinta-arvio kompensoituu verrattaessa lämpöeristeiden arvioitua määrää rakennettuun. Arvioitu lämpöeristemäärä oli 855 neliometriä kun todellisuudessa eristettä laitettiin maahan 1572 neliometriä. Urakoitsijan lausuntojen mukaan suurimpia ongelmia olivat suurehkot kivet, joita ei tarvinnut louhia, mutta ne piti kuljettaa työmaalta pois. Niistä olisi kaivattu parempaa tietoa etukäteen.

6.2 Vesilahti-lempäälä siirtoviemäri

Vesilahti-Lempäälä siirtoviemärin tarkoituksena on johtaa Vesilahden jätevedet jatkossa Lempäälän kunnan jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. Linja sisältää Vesilahden ja Lempäälän välisen siirtoviemärin, jonka kokonaispituus on noin 11 km. Siitä on jo olemassa noin 3,0 km, joka saneerataan tämän hankkeen yhteydessä. Uuden rakennetun siirtoviemärin kokonaispituus on noin 7,9 km, josta noin 4,8 km pituinen osuus on vedenalaista (LIITE 7). Suunnitelmat linjasta tehtiin vuonna 2005 ja linjan rakennustyöt suoritettiin vuosien 2006 ja 2007 aikana Destia Oy:n toimiessa urakoitsijana. Vedenalaiset osuudet rakennettiin talviaikaan järven ollessa jäässä. Linjalla suoritettiin maatutkaluotaus vuonna 2005, joka tehtiin myös vesistöälytysten osalta veneestä käsin. Maatutkaluotauksen tarkkuuden arviointi perustuu Tapio Silanteen haastatteluun. Viemärilinja on Pirkanmaan Ympäristökeskuksen rakennuttama ja Silanne toimi kohteessa rakennuttajan edustajana. Dokumentit sisälsivät kallion ja kiven louhintamäärät sekä pituusleikkauksen paalulukeman, jossa louhinta tehtiin. Vedenalaiset louhinnat oli eritelty eri taulukkoon kuin maanpäälliset louhinnat. Taulukossa oli myös eritelty tehtiinkö louhinta kallioon vai kiveen. (Silanne 2009)

6.2.1 Maatutkaluotauksen tarkastelu

Linjasta yli puolet kulkee veden alla, joten maatutkaluotauksen tarkkuus ja maaperätietojen oikeellisuus on entistään tärkeämpää. Mikäli järven pohjasta löytyy kalliota ja joudutaan turvautumaan vedenalaiseen louhintaan, ovat sen kustannukset noin viisi kertaa kalliimmat verrattaessa maanpäälliseen louhintaan.

Linjan alkupäässä Kuuliannokan kohdalla löytyi maatutkaluotauksen mukaan kaksi kallion kärkeä järven pohjasta, jotka olisivat vaatineet vedenalaista louhintaa. Rakennuttaja oli ennen linjan rakentamista paikantanut kohteet jään päällä ja sahannut jäähän reiän. Reiästä pitkällä rautatangolla tunnustelemalla kyseiset kallion kohdat olivat löytyneet. Muutama metri kauemmas rannasta oli sahattu uusi reikä jäähän ja sieltä tunnustelemalla kalliota ei ollut enää löytynyt. Linja siirrettiin tuohon kohtaan ja maatutkaluotauksen ansiosta linja osattiin siirtää kulkemaan siten, että kyseisellä kohdalla kallis vedenalainen louhinta kyettiin välttämään.

Seuraava kalliokohta linjalla löytyi hieman ennen Vesaniemen kannaksen ylitystä. Linjaa ei voitu siinä kohtaa olemassa olevan rakennuskannan vuoksi enää siirtää. Paikassa jouduttiin tekemään 30 m^3 vedenalaista louhintaa. Maatutkauksen mukaan kallio osuus oli tismalleen oikeassa paikassa. Vesaniemen kannaksen ylityskohdassa oli jälleen tulkittu kallio-osuus. Louhintaraportin mukaan kannaksella tehtiin 36 m^3 kallion louhintaa juuri maatutkaluotauksen osoittamasta kohdasta.

Seuraava vesistöalituskohta menee Kirkkolahden poikki. Sieltä ei maatutkalla löytynyt kalliota tai muuta paineviemäriputken järven pohjaan asentamista haittaavaa kohdetta. Rakennusvaiheessa todettiin asian myös olevan näin. Kaakilanniemen ylitysosuudella ei myöskään maatutkan mukaan ollut kalliota ja sama voidaan todeta louhintaraportista. Linjan seuraavassa vedenalituksessa Savikkolahden kohdalla voidaan todeta ensimmäinen ristiriita maatutkatiedon ja rakennusaikaisten havaintojen välillä. Kohdassa on tulkittu järvenpohja silttiseksi saveksi. Todellisuudessa pohjasta löytyi isoja kiviä, jotka jouduttiin louhimaan. Yhteensä louhittavia kiviä oli viidentoista kuutiometrin edestä. Muita vedenalaisia louhintoja ei jouduttu tekemään eikä sellaisia kohtia linjalla maatutkauksen mukaan ollutkaan.

Tultaessa maihin viimeisen vesialituksen jälkeen oli maatutkauksen mukaan rantatörmällä kalliota. Kallio oli kuitenkin tulkittu kutakuinkin samaan syvyyteen putken asennussyvyyden kanssa eikä rakennusvaiheessa kyseisellä kohtaa kallioon törmätty. Hieman rantatörmän jälkeen oli puolestaan jouduttu turvautumaan louhintaan. Kohdassa oli louhittu kiviä $14,5 \text{ m}^3$ ja maatutkauksen mukaan kohdassa olisi moreeniesiintymä. Maaperä siis täsmää ihan hyvin, mutta kivisestä moreenista olisi syytä olla erityismaininta aina kun se tutkaprofiililta on vain havaittavissa. Seuraava kivien louhinta oli jouduttu tekemään kohdassa, jossa maatutkatulkinnan mukaan on silttistä savea. Yhteensä kohdassa louhittiin kiviä $16,8 \text{ m}^3$. Viimeinen louhintakohta osuu paaluluvulle 7250. Kohdalla on louhittu pinnasta yksi kahden kuutiometrin kivi ja sen alta kalliota $15,5 \text{ m}^3$. Maatutkatulkinnan mukaan paikka on kivistä soraa.

6.2.2 Yhteenveto maatutkaluotauksen tarkkuudesta

Maatutkaluodatus viemärilinjan yhteispituus on noin 7,9 km. Maaperätietojen tarkastelun perusteella selkeästi virheellistä maaperätietoa linjalla oli vain 50 metrin matkalla. Voidaan siis todeta maatutkaluotaustulkinnan onnistuneen loistavasti kyseisellä linjalla. GTK:n geologista karttaa alueelta verrattaessa maatutkatulkinnan maaperätietoihin voidaan todeta tietojen täsmäävän hyvin yhteen. Maatutkatut savi-, hiekka- ja kallio-osuudet näkyvät myös geologisella kartalla.

Linjalla ei ollut maatutkauksen mukaan kovinkaan paljon kalliikohteita, joissa louhintaa tarvittaisiin. Taulukosta 4 huomataan, että kallion louhintaa on suoritettu yhteensä 140 metrin matkalla. Niistä 110 metriä näkyi maatutkatulkinnassa. Louhituista kalliikohteista näkyi maatutkalla siis lähes 80 prosenttia, joten kyseisessä kohteessa maatutkaluotauksen tarkkuus oli todella hyvää luokkaa. Louhintamäärien vertailu kustannusarvion ja toteutuneiden louhintamäärien välillä ei onnistu tässä kohteessa, sillä kaksi kalliikohtaa on kierretty maatutkauksen perusteella. Tästä syystä louhintamäärät eivät ole tarkalleen vertailukelpoisia, mutta voidaan todeta kustannusarvion louhintamäärien olleen yläkanttiin. Tässä kohteessa maatutkaluotaus osoitti tarkkuutensa ja käyttökelpoisuutensa maaperätutkimusmuotona. Sen ansiosta osattiin varautua hankliin ja kalliisiin louhintakohtiin ja osa niistä onnistuttiin maatutkauksen ansiosta jopa välttämään.

Louhittu kaikkiaan	140 metriä
Louhinta- ja maatutkatieto täsmäävät	110 metriä
Louhittu, muttei näkynyt maatutkalla	30 metriä
Näkynyt maatutkalla, muttei louhittu	20 metriä

TAULUKKO 4 Louhintatietojen vertailu rakennusaikaisiin havaintoihin

6.3 Sotkian-Kurijärven vesihuoltolinja

Sotkian-Kurijärven vesihuoltolinja sisältää Kylmäkosken kunnan alueella olevan vesihuoltohankkeen. Linjan pituus on yhteensä noin 12,5 kilometriä ja se koostuu noin 6,5 km pitkästä runkolinjasta sekä yhteensä 6 km pituisista jakelulinjoista. Työn tilaajana toimivat yhdessä Kylmäkosken kunta ja Sotkian-Kurijärven vesiosuuskunta. Työn tarkoituksena oli tuottaa toteutussuunnitelma vesihuoltolinjoille, joilla saatetaan alue keskitetyn vedenjakelun ja viemäroinnin piiriin. Linjan suunnittelu tehtiin vuonna 2005, jolloin myös linjan maaperätutkimusmuotona käytetty maatutkaluotaus suoritettiin. Maatutkausta ei suoritettu aivan koko linjalta vaan runkolinjan osalta noin 5,5 km matkalta ja jakelulinjojen osalta noin 4 km matkalta. Maatutkauksen tarkkuuden tarkastelu perustuu hankkeen urakoineen Maa- ja vesirakennus Kiri Oy:n edustajan Timo Kirin haastatteluun. (Kiri 2009)

6.3.1 Maatutkaluotaus kohteessa

Maatutkaluotaus suoritettiin linjalla 24.–25.10.2005. Olosuhteet olivat kyseisenä aikana mainiot tutkimuksen suorittamiseen. Lämpötila oli hieman pakkasen puolella ja maanpinta oli ohuen kuuran alla. Geologian tutkimuskeskuksen tekemien geologisten karttojen mukaan alue on suurimmalta osin savivoittoista maaperää. Alueella on myös moreeni- ja kallioesiintymiä. Tutkimuslinjat ovat peltoa ja tien viertä sekä luonnontilaista metsää. Kohde muodostuu päälinjasta sekä useista sivuhaaroista. Linjanumerointi löytyy liitteenä (LIITE 8) olevasta kartasta alueelta. Päälinjalta on maatutkattu välit 5-6 ja 6-7. Sivuhaaroista on tutkattu ja rakennettu kyseiseen paikkaan 5.1-5.10, 5.3-5.30, 6-6.0, 6.01-6.010, 6.2-6-20, 6.5-6.50, 6.6-6.60, 6.71-6.710. Muut linjat on joko tutkaamatta tai ne on rakennettu eri linjaa pitkin, jolloin maaperätietoja ei voida vertailla.

6.3.2 Päälinjan maatulkuotuksen tarkastelu

Päälinjan ensimmäisen kilometrin matkalla ei ole kuin kaksi virheellistä kohtaa maaperätiedoissa. Linjan pinnassa kulkee savinen silttikerros, jonka alta tulee sorakohoumia. Nämä kohoumat on tulkittu kahdessa kohdassa hienoksi hiekaksi. Tällä ei kuitenkaan ole suurta käytännön merkitystä putkien kaivuun tai asennuksen osalta.

Toisessa pituusleikkauksessa päälinjalta on tulkittu viisi kallion nokkaa, jotka pitäisi louhia. Todellisuudessa niitä ei ole lainkaan. Ensimmäiset kaksi kallionnokkaa on tulkittu nousevaksi savisesta silttimaasta. Todellisuudessa kohdalla on kivinen moreenimuodostuma, jonka isot kivet ovat tulkittu kallion kärjiksi. Loput kolme kallionkärkeä ovat tulkittu väärin tai sitten ne kulkevat huomattavasti syvemmällä kuin tulkinnassa, sillä niistä ei ole minkäänlaista rakennusaikaista havaintoa. Seuraavassa pituusleikkauksessa on jälleen tulkittu lukuisia kallionkärkiä, jotka osuvat linjalle. Todellisuudessa väli oli kokonaan savista silttiä, josta ei löytynyt mitään louhittavaa.

Seuraavassa päälinjan pituusleikkauksessa on jälleen tulkittu runsaasti kallio-osuuksia. Tällä kohtaa kalliot osuivat paremmin kohdalleen. Yksi tulkituista kallionkärjistä oli moreenia ja yhtä kallio-osuutta ei näy tulkinnassa ollenkaan. Seuraava kilometrin mittainen pituusleikkaus osuu maaperätietojen osalta hyvin oikeaan. Osuudella on runsaasti myös kallioita ja urakoitsijan mukaan ne olivat juuri maatulkuotuksen osoittamilla paikoilla. Alue on myös geologisessa kartassa merkitty kallioalueeksi. Viimeinen päälinjan pituusleikkaus oli koko matkan tulkittu saviseksi siltiksi, josta nousi kolme louhittavaa kallionnokkaa. Maaperä oli todellisuudessakin savista silttiä tai pelkkää savea ja tulkittuja kallionkärkiä ei kaivettaessa tullut vastaan.

6.3.3 Sivuhaarojen maatulkuotuksen tarkastelu

Linjalla 5.1-5.10 on tutkattu ainoastaan linjan viettoviemäriosuus. Maaperätiedot pitävät muuten hyvin paikkansa paitsi tulkittu moreenikerros sijaitsee lähempänä maanpintaa ja on todella kivistä. Sama pätee linjojen 5.3-5.30 ja 6-6.0 alkupäässä. Moreeni alkaa taas aivan maanpinnasta ja on hyvin kivistä. Linjan 6-6.0 loppupään tutkimus täsmäsi todellisen maaperän kanssa. Linjan 6.5-6.50 loppupäässä on tulkittu pintamaa moreeniksi ja reilun metrin syvyydestä alkamaan yhtenäinen 450 metriä pitkä kallio-

osuus. Rakennusvaiheessa todettiin alue todella tiiviiksi ja kiviseksi moreeniksi, mutta kalliota osuudelta ei löytynyt, vaikka viettoviemärin asennussyvyys oli toisin paikoin yli kolme metriä. Osuudella 6.01-6.010 olivat tulkinassa menneet savi- ja moreeniosuudet väärinpäin. Saveksi merkatut kohdat todettiin rakennusvaiheessa moreeniksi ja moreenikohdat saveksi. Linjat 6.2-6.20, 6.6-6.60 ja 6.71-6.710 olivat urakoitsijan mukaan maatulokauksen osoittamaa maaperää.

6.3.4 Yhteenveto maatulokauksen tarkkuudesta

Sotkian-Kurisjärven vesihuoltolinjalla oli maatulokattua linjaa päälinjat ja sivuhaarat mukaan laskien yhteensä noin 9,5 kilometriä. Jos otetaan huomioon kaikki maalajit ja kalliikohteet, linjoilla oli noin kilometri selkeästi virheellistä maaperätietoa. Lähes 90 %:n oikeellisuus on todella hyvä tarkkuus. Selkeästi virheelliseksi maaperäksi otettiin väärin tulkitut kalliit sekä selkeästi eriävät maalajit, esimerkiksi jos moreeni oli tulkitu saveksi tai toisinpäin. Enemmän eroavaisuuksia syntyy, jos tarkastellaan pelkkien kalliikohteiden paikkansapitävyyttä maatulokatulkinnassa.

Louhittu kaikkiaan	480 metriä
Louhinta- ja maatulokatieto täsmäävät	390 metriä
Louhittu, muttei näkynyt maatulokalla	90 metriä
Näkynyt maatulokalla, muttei louhittu	600 metriä

TAULUKKO 5 Louhintatietojen vertailu rakennusaikaisiin havaintoihin

Kuten taulukosta 5 voidaan havaita, maatulokauksen perusteella linjalla on runsaasti kallio-osuuksia, joita ei ole todellisuudessa rakennusvaiheessa löytynyt. Suunnitelmissa oli lähes kilometrin verran kallio-osuutta, josta ainoastaan noin 40 prosenttia todellisuudessa löytyi. Kalliit olivat useimmiten noin metrin syvyydessä tai syvemällä. Toteutuneista kallioulouhinnoista ei ole kirjanpitoa olemassa ja kalliikohtien tarkastelu perustui urakoitsijan suullisiin lausuntoihin. Tämän vuoksi tarkkojen kuumiömmärien arviointi on mahdotonta. Maatulokauksen tarkkuuden tarkastelu perustuikin linjan kulkusuunnassa arvioituihin metrimääriin niin kallio-osuuksien kuin muiden maalajien osalta. Tutkaustulkinnan tekijän mukaan kohteessa käytetty 270 Mhz:n maatuloka-antenni oli juuri otettu käyttöön ja kokemuksia siitä ei aikaisemmin ollut. Tämän vuoksi kalliikohteita oli tulkittu liikaa. Myös kohteen savipitoinen maaperä aiheutti haasteita tulkintaan.

Erityishuomiota urakoitsija kiinnitti maaperän runsaaseen kivisyyteen, joka haittasi kaivutyötä. Kuvasta 3 nähdään tyypillistä maastonäkymää suunnittelualueelta. Maanpinnastakin voidaan havaita, että alue on todella kivistä, mutta kivisyys ei näy suunnitelmissa muutamaa poikkeuskohtaa lukuun ottamatta. Yhteenvetona voidaan todeta linjojen maaperätietojen olleen varsin hyvin oikeassa kun otetaan huomioon kaikki maalajit. Virheitä löytyi enemmän puolestaan kallioisten ja kivisten osuuksien osalta. Niiden selvittäminen on kuitenkin yksi pääsystä maatutkaluotauksen suorittamiseen.



KUVA 3 Tyypillinen maastonäkymä Sotkian-Kurijärven vesihuoltolinjalla

6.4 Kikkerlän alueen vesihuolto

Kikkerlän alue sijaitsee Kiikan taajaman pohjoispuolella nykyisen Sastamalan kaupungin alueella. Rakennusalue on suurelta osin pelto- ja metsätalousaluetta. Alueelle rakennettiin uutta vesihuoltolinjaa alueen liittämiseksi keskitetyn vesihuollon piiriin. Suunnitelmat tehtiin vuonna 2006 ja kohde rakennettiin syksyllä 2007. Urakoitsijana kohteessa toimi Maa- ja vesirakennus Kiri Oy. Vesihuoltolinjojen yhteispituus on noin 2,4 kilometriä ja ne koostuvat päälinjasta ja kolmesta sivuhaarasta (LIITE 9).

Linjoille rakennettiin vesijohtoa ja viettoviemäriä. Maatutkaluotauksen tarkkuuden tarkastelu perustuu urakoitsijan edustajan Timo Kirin haastatteluun. Haastattelussa käytiin linjojen pituusleikkaukset läpi ja merkittiin kohdat, joissa maaperätiedoissa oli virheitä. Linjalla ei suoritettu tarkekairauksia. Yksi painokairaus tehtiin päälinjan päähän sijoitetun jäteveden pumppaamon kohdalta, mutta sen osalta ei ollut maaperätiedoissa ristiriitaa verrattaessa maatutkatulkintaan. (Kiri 2009)

6.4.1 Päälinjan maatutkaluotauksen tarkastelu

Kahden kilometrin pituisen päälinjan pituusleikkauksissa ei maatutkaluotauksen mukaan ollut lainkaan kalliota. Todellisuudessa kalliota oli linjalla kahdessa kohdassa yhteensä noin 140 metrin matkalla. Toinen kohdista oli savialueen keskellä oleva 50 metrin pituinen kallio-osuus. Maatutkalla kyseinen väli oli tulkittu hiekaksi. Toinen kallio-osuus oli tulkittu hiekkaiseksi soramuodostumaksi. Linjalla oli myös tulkittu olevan useita hiekkaisia moreenimuodostumia. Todellisuudessa ne olivat hyvin tiivistä ja kivistä moreenia. Muuten päälinjan maaperätiedoissa ei ollut huomautettavaa.

6.4.2 Sivuhaarojen maatutkaluotauksen tarkastelu

Sivuhaaroja oli kolme kappaletta ja niiden yhteispituus on noin 400 metriä. Kaksi haaroista oli lyhyitä noin 50 metrin mittaisia. Urakoitsijan mukaan ne olivat savialueita, joiksi ne oli maatutkatulkinnan perusteella merkittykin. Pisimmällä sivuhaaralla oli tulkittu yksi kiven- tai kallionnokka, jota ei kuitenkaan todellisuudessa ollut. Sen tilalla oli soramuodostuma, joka oli huomattavasti laajempi kuin tulkittu kivi tai kallio. Muilta osin sivuhaarojen maaperätiedot pitivät paikkansa.

6.4.3 Yhteenveto maatutkaluotauksen tarkkuudesta

Vesihuoltolinjojen maaperätietojen tarkastelulla saatiin selkeä kuva maatutkaluotauksen paikkansapitävyydestä. Yhteenvetona voidaan todeta, että yhteensä 2,4 kilometriä pitkillä linjoilla oli urakoitsijan lausuntojen mukaan selkeästi maatutkatulkinnasta eroavaa maaperää 250 metriä. Lähes 90 % linjalla tulkituista maaperätiedoista on siis osunut oikeaan. Maatutkauksen tarkkuus ei puolestaan osoittaudu yhtä paikkansapitäväksi todellisuuteen verrattaessa kun arvioidaan louhintamääriä. Todellisissa louhin-

tamäärissä oli huomattava ero suunnitelmien mukaiseen kustannusarvioon. Kustannusarviossa louhintamääräksi arvioitiin yhteensä 50 kiintokuutiometriä. Urakoitsijan arvion mukaan todellisuudessa louhintaa tehtiin lähes 300 kiintokuutiometriä. Suurin osa tästä muodostui kivien louhinnasta. Suunnitelmissa olleet moreenimuodostumat olivat todella kivisiä ja ne sijaitsivat tulkintaan verrattaessa lähempänä maanpintaa. Louhittuja kalliokohtia ei myöskään näkynyt tutkaustulkinnassa. Näistä syistä louhintamäärissä oli niin merkittävä ero. Voidaan siis todeta, että maaperä saatiin pehmeiden kohtien osalta oikein suunnitelmiin, mutta kallioiset ja kiviset osuudet eivät täsmänneet.

6.5 Taipaleen alueen ja heikkilän toimintakeskuksen viemäröinti

Suunnittelualue sijaitsee Sastamalan kaupungin Suodenniemellä. Toteutussuunnittelun tarkoituksena on johtaa Taipaleen alueen ja Heikkilän toimintakeskuksen jätevedet Suodenniemen keskustaani paine- ja viettoviemärimenetelmillä. Viemärilinjojen yhteispituus on noin 8,5 kilometriä ja se kulkee pääasiassa teiden varsia ja pellon reunoja pitkin. Linjoista on tähän mennessä rakennettu vasta vähän yli puolet, noin 4,7 kilometriä (LIITE 10). Heikkilän toimintakeskuksen linja 1-1.0 on rakennettu kokonaan ja Taipaleen linjasta 1.1-1.10 on rakennettu viimeiset kaksi kilometriä. Maaperätietojen tarkastelu perustuu Sastamalan kaupungin suunnitteluinsinöörin Pasi Lähteenmäen antamiin tietoihin. Kohteessa ei ollut pidetty mitään kirjanpitoa louhinnoista tai muista maaperätiedoista, joten maatutka-aineiston tarkkuuden tarkastelu perustuu Lähteenmäeltä saatuun lausuntoon. Suunnitelmat linjoille tehtiin vuosien 2007 ja 2008 vaihteessa, jolloin myös linjojen maaperätutkimusmuotona käytetty maatutkaluotaus tehtiin. (Lähteenmäki 2009)

6.5.1 Maaperätietojen tarkastelu

Heikkilän toimintakeskuksen linja (linja 1-1.0) ei ole maatutkaluotauksen mukaan kovinkaan vaihtelevaa maaperää. Linjan pituus on 2,7 kilometriä ja siitä 2,6 kilometriä on tutkan mukaan siltistä savea. Loput sata metriä koostuvat kahdesta pienestä kallioosuudesta sekä kahdesta silttimoreenimuodostumasta. Rakennusvaiheessa linjalla ei ollut esiintynyt kalliota, ainoastaan muutama isompi kivi. Tulkittujen kallio-osuuksien tilalla oli kivisiä moreenimuodostumia.

Taipaleen linjaa on rakennettu tähän mennessä kaksi kilometriä. Kyseisellä matkalla ei ole tullut vastaan lainkaan kalliota, vaikka maatulvauksen mukaan kallio-osuuksia olisi pitänyt olla yhteensä 110 metrin matkalla. Muuten linjan maaperä oli tulkittu pääosin saviseksi siltiksi. Taipaleen linjan jo rakennetulle osuudelle oli tulkittu yksi isompi moreenimuodostuma. Kyseinen muodostuma oli myös havaittu rakennusvaiheessa, joten siltä osin tulkinta osui oikeaan.

6.5.2 Yhteenvedo maatulvauksen tarkkuudesta

Kuten taulukosta 6 voidaan havaita, kyseisessä kohteessa kallioiden tulkinta on epäonnistunut. Louhittavaa ei löytynyt rakennetuilla osuuksilla lainkaan, vaikka sitä tulkin mukaan kalliota piti olla 180 metrin matkalla. Muista maaperätiedoista ei voida saadun informaation perusteella tehdä juurikaan johtopäätöksiä.

Louhittu kaikkiaan	0 metriä
Louhinta- ja maatulvatieto täsmäävät	0 metriä
Louhittu, muttei näkynyt maatulvalla	0 metriä
Näkynyt maatulvalla, muttei louhittu	180 metriä

TAULUKKO 6 Louhintatietojen vertailu rakennusaikaisiin havaintoihin

6.6 Pajuniemen alueen viemärointi

Rakennuskohteena on Sastamalan kaupungin Pajuniemen alueen viemärointi. Viemäri-
linjojen kokonaispituus on noin 6,1 kilometriä. Viemäri-
linjat sijaitsevat pääasiassa
teiden varsilla ja pellon reunassa (LIITE 11). Suunnitelmat rakennuskohteeseen tehtiin
vuoden 2007 aikana. Kohde rakennettiin vuonna 2008 ja urakoitsijana toimi Maanra-
kennus Oy Viitanen&Rajamäki. Kyseisestä kohteesta ei ollut saatavissa kuin urakoitsi-
jan kirjaamat louhintaselvitykset, joten maaperätietojen tarkastelu perustuu vain kal-
liokohtiin ja louhintoihin. (Lähteenmäki 2009)

6.6.1 Maatutkaluotauksen tarkastelu

Pajuniemen alueen viemäri- ja linjoilla ei maatutkaluotauksen mukaan ollut kovin paljon louhittavaa kallio-osuutta. Louhittavaa matkaa maatutkauksen mukaan oli linjoilla yhteensä 135 metriä. Taulukosta 7 voidaan havaita toteutuneeksi louhintamatkaksi 150 metriä, joten matkallisesti maatutkauksen antama tieto täsmää hyvin todellisuuteen. Linjoilla oli vain yksi merkittävämpi kalliokohta, joka oli myös maatutkatiedon perusteella oikein tulkittu. Taulukossa 7 näkyvät erot tutkaustulkinnan ja todellisen maaperätiedon välillä syntyvät yhdestä kalliokohdasta, joka on tulkittu moreenimuodostumaksi sekä parista tulkitusta kallionnokasta, joita ei todellisuudessa kuitenkaan löytenyt. Voidaan todeta että kohdat, joissa louhintaan jouduttiin turvautumaan, näkyivät myös melko hyvin maatutkatulkinnassa. Louhintamäärissä sen sijaan oli enemmän heittoja suunnitelmien ja toteutuneiden kuutiometriä osalta. Kustannusarvioon oli laskettu 400 kiintokuutiometriä kiven ja kallion louhintaa maatutkaluotauksen perusteella. Toteutunut louhintamäärä oli 215,2 kiintokuutiometriä. Merkittävä ero syntyy kalliokohtien korkeusaseman erosta. Maatutkatulkinnassa kalliopinta kulki lähempänä maanpintaa kuin todellisuudessa. Tämän vuoksi kustannusarvioon oli laskettu liian paljon louhintaa.

Louhittu kaikkiaan	150 metriä
Louhinta- ja maatutkatieto täsmäävät	115 metriä
Louhittu, muttei näkynyt maatutkalla	35 metriä
Näkynyt maatutkalla, muttei louhittu	20 metriä

TAULUKKO 7 Louhintatietojen vertailu rakennusaikaisiin havaintoihin

6.6.2 Yhteenveto maatutkaluotauksen tarkkuudesta

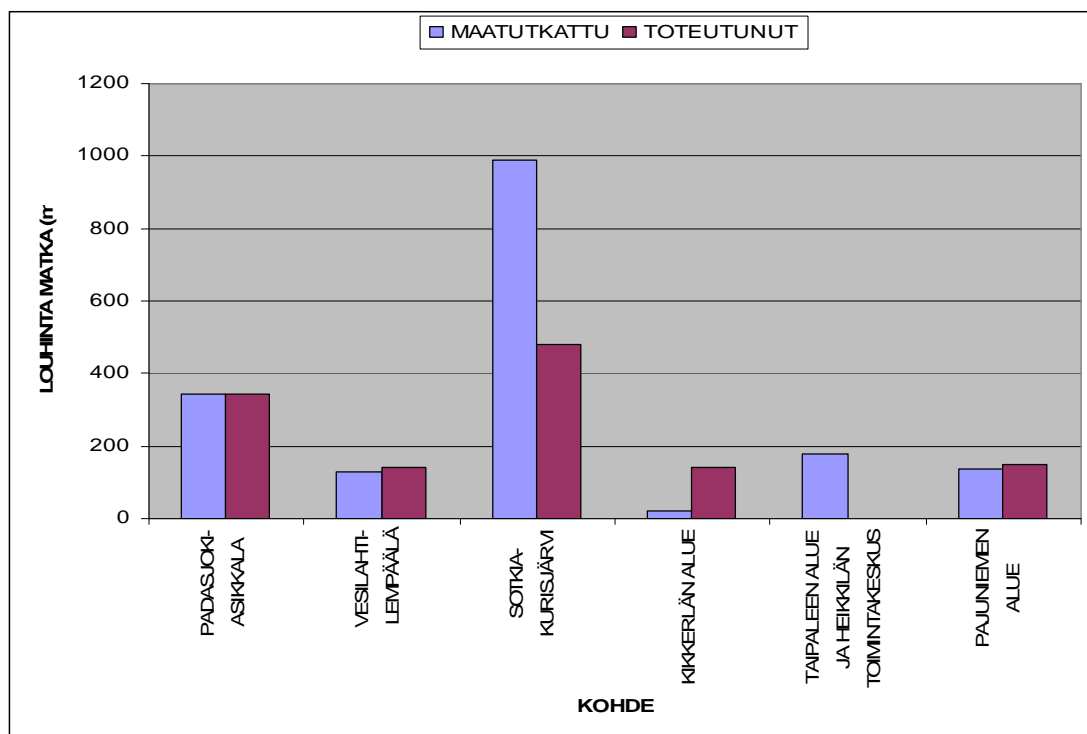
Kohteen maatutka-aineistoa voidaan tarkastella ainoastaan louhintaa vaativien kohteiden osalta. Linjoilla suoritetuista louhinnoista lähes 80 % on näkynyt myös suunnitelmissa, joten kyseisessä kohteessa maatutkatulkinta on osunut varsin hyvin oikeaan. Täydelliseen maaperätietojen oikeellisuuteen suunnitelmissa totta kai pyritään, mutta kustannuksiltaan järkevän maaperätiedon hankinnassa voidaan tämän kohteen tarkkuutta pitää riittävänä.

7 TULOSTEN TARKASTELU

Selvitykseen otettiin yhteensä kuusi vesihuoltolinjakohdetta, joiden perusteella maatutkaluotausaineiston paikkansapitävyyttä tarkasteltiin. Neljässä kohteessa kuudesta oli saatavissa vain tiedot linjoilla suoritetuista louhinnoista. Tästä johtuen muiden kuin kallio-osuuksien tarkkuuden tarkasteleminen jää vain kahden kohteen varaan. Rakennusaikaiset havainnot vaihtelevat eri kohteissa kirjallista louhintaselvityksistä rakennusurakoitsijan suulliseen selvitykseen maaperätietojen paikkansapitävyydestä.

Sotkian-Kurisjärven vesihuollon ja Kikkerlän alueen vesihuollon osalta voitiin tehdä kattavampi tarkastelu maaperätietojen oikeellisuudesta. Kyseisten linjojen yhteispituus on 11,9 kilometriä. Urakoitsijan haastattelun perusteella linjoissa oli tulkittu yhteensä 1,2 kilometriä selkeästi virheellistä maaperätietoa. Eli noin 90 % linjojen kokonaispituudesta oli tulkittu oikein.

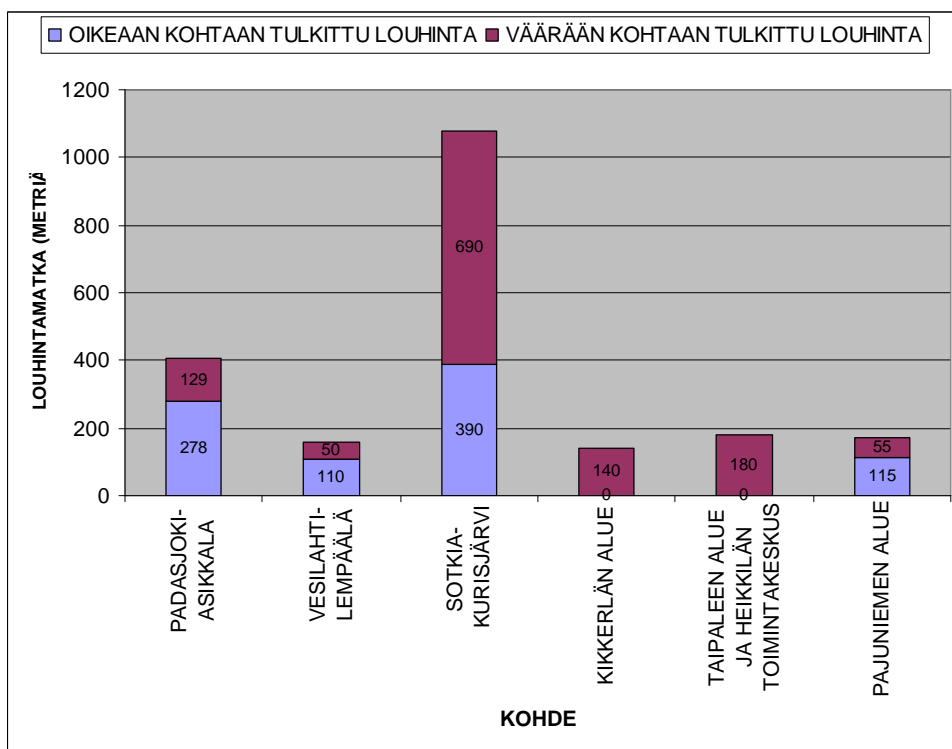
Vesihuoltolinjarakentamisen kannalta olennaisin maaperätieto on louhittavat kalliot ja kivet. Kaikista kuudesta kohteesta saatiin tiedot suoritetuista louhinnoista.



KAAVIO 1. Louhintamatkojen vertailu maatutkauksen osoittamien ja toteutuneiden louhintojen välillä esimerkkikohteissa.

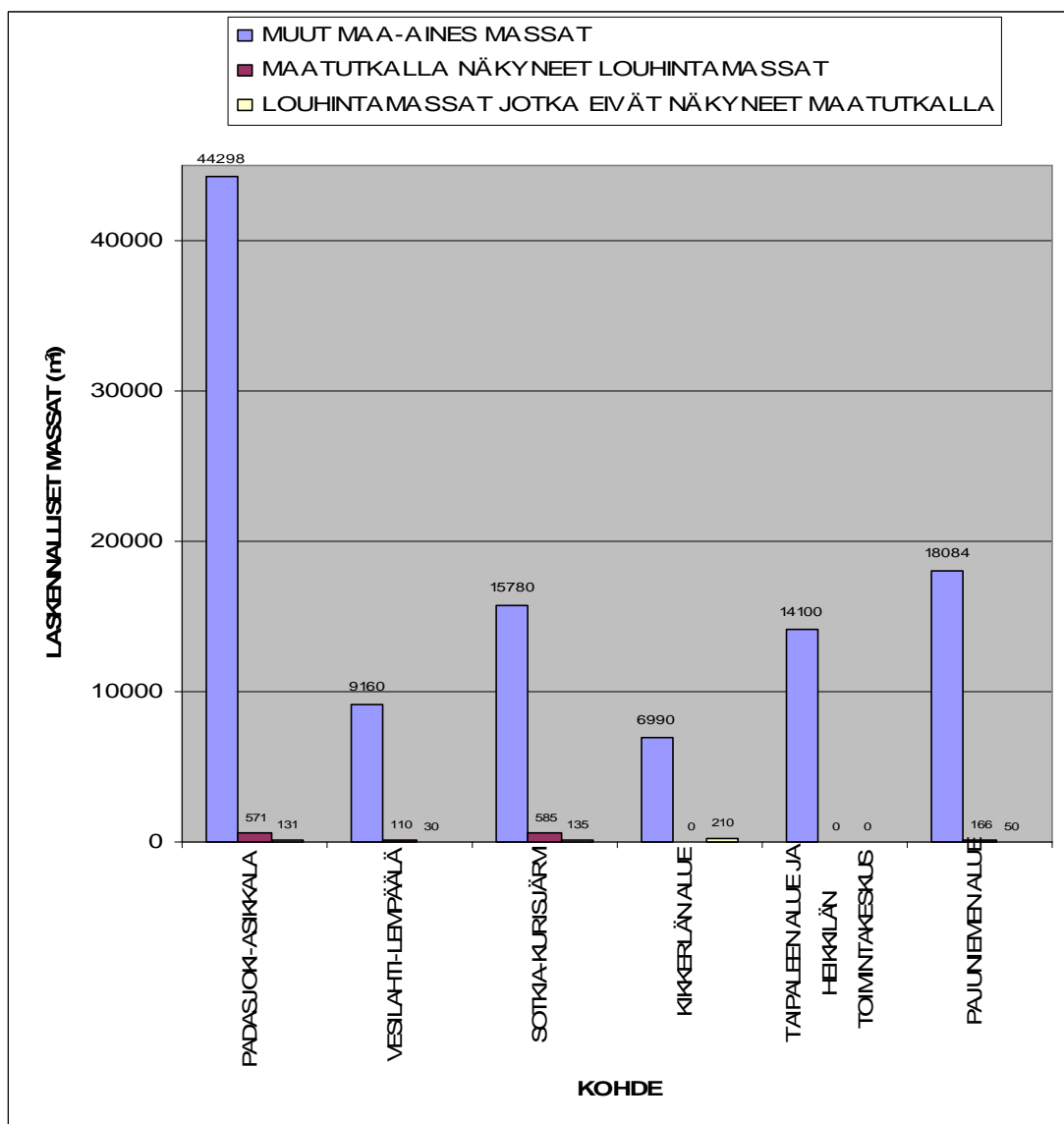
Kaavion 1 perusteella voidaan todeta kahdessa kohteessa kalliota tulkitun maatutkauksen perusteella selkeästi enemmän kuin mitä todellisuudessa on löytynyt. Rakennusurakan kannalta on kuitenkin parempi, että virhe on juuri näin päin. Rakennuttajan kannalta on aina hankalaa, jos kesken urakan huomataan kustannusten kovasti nousevan verrattaessa alkuperäiseen kustannusarvioon. Yhdessä kohteessa on kalliota puolestaan ollut selkeästi enemmän mitä maatutkauksen perusteella on tulkittu.

Kaavio 1 vertaa ainoastaan tutkattujen ja toteutuneiden louhintamatkojen summia. Kyseinen kaavio ei kuitenkaan kerro ovatko louhinnat suoritettu niiltä kohdilta, joihin maatutkatulkinta on louhittavaa osuutta näyttänyt. Kaaviosta 2 voidaan kyseistä asiaa tarkastella ja todeta kolmessa kohteessa oikeaan kohtaan tulkittua kalliota olleen selkeästi enemmän väärään tulkintaan verrattaessa. Kahdessa kohteessa louhittavien osuuksien tulkinta on mennyt kokonaisuudessaan väärään kohtaan.



KAAVIO 2. Tulkittujen louhintakohtien tarkastelu esimerkkikohteissa.

Kaavioiden 1 ja 2 perusteella voisi nopeasti todeta maatutkatulkinnassa esiintyneiden virheiden olevan koko vesihuoltolinjan rakennusurakan kannalta todella merkittäviä. Kaavio 3 kuitenkin osoittaa että kalliikohteiden massat ovat hyvin pieni osa vesihuoltolinjaurakan kokonaismassoista. Kaavion 3 massat ovat ainoastaan laskennallisia arvoja, sillä kaikista kohteista ei ollut saatavissa kirjanpitoa louhinnoista kuutiomääräisesti. Massalaskennan oletusarvoina käytettiin muiden maa-ainesten osalta $3 \text{ m}^3/\text{m}$ ja louhintojen osalta $1,5 \text{ m}^3/\text{m}$. Laskettujen massojen perusteella kaikissa kuudessa kohteessa kalliomassojen osuus jää alle 5 %:iin hankkeen kokonaismassoista. Kalliikohteissa esiintyneet virheet eivät siten vaikuta hankkeiden kokonaiskustannuksiin merkittävästi.



KAAVIO 3. Vesihuoltolinjojen massojen jakautuma esimerkikohteissa.

Virheellisesti tulkituista kohdista on hankala löytää mitään selkeää systematiikkaa virheiden suhteen. Yleisesti voidaan todeta virheellisesti tulkittujen kohteiden sijaitsevan heikosti maatutkan signaalia palauttavilla alueilla. Märillä savikoilla signaali hukkuu maaperään ja tulkinnasta tulee epävarmaa. Samoin lannoitetuilla pelloilla tutkausdatasta tulee puuromaista, josta on hankala erottaa eri kerrosrajoja. Sotkian-Kurisjärven vesihuoltolinjalla oli eräässä kohdassa havaittavissa sähkölinjan häiriö tutkausdataan. Kohteessa oli tulkittu tasaisin välein pieniä kallioharjanteita. Linja kulki valaistua tien vartta, josta tutkaustulkinnan tekijöiden kanssa pääteltiin valotolppien aiheuttaneen tutkausdataan häiriötä, joka oli virheellisesti tulkittu kallioiksi. Tässäkin tapauksessa tarkka kirjanpito tutkausvaiheessa voisi ennaltaehkäistä kyseiset virheet. Samoin on todella kivisten maastonkohtien kanssa. Yleensä runsaasta maanpinnalla olevasta kivisyydestä voi päätellä myös maaperän olevan kivipitoista. Kivien ja lohkaraiden havaitseminen riippuu niiden koosta, käytettävästä antennitaajuudesta, kohteen syvyydestä sekä lohkaraiden tai kivien esiintymistiheydestä. Lajittuneissa maalajeissa yksittäiset lohkaraidet on helpommin havaittavissa, mutta lohkaraidissa moreenissa yksittäisten kohteiden erottaminen on vaikeaa tutkatuloksen puuroutuessa useisiin heijasteisiin. (Hänninen ym. 2009)

Homogeenisissa väliaineissa tulosten tarkkuus on puolestaan hyvä. Moreenimaissa ja muissa epähomogeenisissa maalajeissa tulkintaa vaikeuttavat heijastuspintojen runsaus. Varsinkin savisessa moreenissa tulkinnan epävarmuus on suurta (Hänninen 1986, 19). Tutkauksen aikaisten havaintojen tekeminen ja niiden kirjaaminen ylös edesauttavat selkeiden virheiden tunnistamista. Muina mahdollisina virhelähteinä voidaan todeta luotauksen epätarkka sidonta sekä hankalat maastokohteet. Jos maatutkan antenni ei etene tasaisella nopeudella ja maastonmuotoja mukaillen, saattaa se aiheuttaa hankaluuksia tutkapulssin etenemiseen maaperässä. Myös vuodenajalla on merkitystä tutkauksen onnistumiseen. Esimerkiksi keväällä lumien sulaessa maanpinnan runsas vesipitoisuus heikentää antennisignaalin tunkeutumisyyvyyttä. ”Maatutkakuvasta ei pysty analysoimaan eri väliaineiden koostumusta, mutta siitä näkee selvästi aineiden väliset rajapinnat. Jos kahden ainekerroksen välillä on suuri ero vesipitoisuudessa, heijastus niiden rajapinnasta on voimakas. Mitä suurempi heijastus on, sitä lyhyemmän matkan tutkapulssi etenee. Vesipitoisten aineiden suuri sähkönjohtavuus on maatutkalle myrkyä. Savet ja savipitoiset moreenit estävät tutkapulssin tunkeutumisen syvemmälle maaperään” (Öster, 2006).

Maatutkaluotaus antaa yhtenäisen profiilin maaperästä ja on kairauksiin verrattuna huomattavasti kokonaisvaltaisempi otos maaperän laadusta. Maatutkan käyttö yhdessä koetinkairauksen kanssa vaikuttaa selvästi myös linjausten optimointiin ja johtaa siten vaihtoehtoisten linjausten selvittämiseen. Tämän ansiosta suunnittelun laadullinen kustannushyöty kohdistuu suoraan rakennuttajalle.

Aineiston tarkkuustarkastelun perusteella voidaan todeta tutkaustulkintojen tarkkuudessa olevan parannettavaa, mutta sitäkin pystytään jatkossa kehittämään. Palautteen antaminen tulkin tekijälle on esiarvoisen tärkeää aina kun tulkin oikeellisuudesta saadaan tietoa rakennusvaiheessa. Poikkeamaraportoinnin avulla havaitut virheet opitaan jatkossa tunnistamaan ja mahdollisesti välttämään. Tutkaustietojen tulkinta on kuitenkin varsin tarkkaa ja vaativaa työtä, joten tulkin oikeellisuuteen vaikuttaa oleellisesti myös tulkin tekijän kokemus. Vesihuoltolinjasuunnittelun tueksi kerättävän maaperätiedon hankkimiseen maatutkaa voidaan pitää usein parhaana vaihtoehtona. Se pärjää nopeutensa ja jatkuvan profiilin ansiosta kairauksille niin hinnoittelussa kuin tarkkuudessaakin.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön yksi tavoitteista oli antaa toimeksiantajalle näkemys käytettävän maatutkaluotausaineiston paikkansapitävyydestä esimerkkikohteissa. Tämä tavoite täyttyi ainakin linjoilla esiintyneiden kalliikohteiden osalta. Irtomaalajien osalta selvitys olisi voinut olla kattavampi, mutta se olisi vaatinut urakoitsijoilta parempaa kirjarpitoa maaperätiedoista jo rakennusvaiheessa. Tarkkuustarkastelusta olisi saatu aivan eri lailla informaatiota, jos urakoitsijoita olisi päästy ennen rakennustöiden aloittamista informoimaan tämänkaltaisesta tekeillä olevasta selvityksestä. Silloin olisi voitu pitää tarkempaa kirjarpitoa suunnitelmissa olevien maaperätietojen paikkansapitävyydestä. Tämän kaltainen selvitystyö olisi ollut useamman vuoden projekti, sillä kyseisenlaisia kohteita ei rakenneta kovin tiuhaan. Mahdollista olisi ollut toki yrittää hankkia esimerkkikohteita muualtakin kuin AIRIXI:N suunnittelemissa kohteista, mutta rajausta päädyttiin tekemään vain toimeksiantajan omiin suunnittelukohteisiin. Selvitystyöstä saatiin kuitenkin kuva maatutkaluotausaineiston oikeellisuudesta esimerkkikohteissa.

Selvitystyön perusteella voidaan todeta maatutkaluotauksen soveltuvan tiettyjä poikkeuksia lukuun ottamatta hyvin vesihuoltolinjasuunnittelun maaperätutkimusmenetelmäksi. Jatkossa kannattaa mahdollisesti miettiä onko tarpeellista suorittaa maatutkaus koko linjan osalta. Vaihtoehtona olisi keskittää maatutkaus kohtiin, joissa voidaan olettaa maatutkan antaman maaperätiedon olevan varmempaa ja riskialttiit ja hankalasti tutkattavat osiot tutkia muilla maaperätutkimusmenetelmillä. Jos linja kuitenkin tutkataan kokonaan, ei kannata unohtaa tärykairalla tehtävien tarkekairausten merkitystä. Niiden ansiosta linjan tulkinta saattaa muuttua merkittävästi ja varsin pienellä satsauksella saadaan maaperätiedon luotettavuutta parannettua. Maatutkauksen perusteella kairaukset saadaan myös kohdennettua lisäinformaatiota vaativiin kohtiin. Maatutkaluotausaineiston tarkkuuden voidaan olettaa paranevan entisestään kun muistetaan palautteenannon merkitys tulkinnan tekijöille. Rakennusaikaiset havainnot maaperästä tulisi päätyä aina myös maatutkatulkinnan tekijöille, jotta saataisiin maatutkatulkinnat jatkossa mahdollisimman luotettaviksi tulkinnan tekijästä tai olosuhteista riippumatta.

9 LÄHTEET

Ala-Laurila, Juha-Matti 2007. EVTEK ammattikorkeakoulu. Viemäröinnin suunnittelu ja mittaukset AIRIX Ympäristö Oy:ssä. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Annan A.P. 2003. Ground Penetrating Radar, Principles, Procedures & Applications s1-8

Clifford, Jukka 2008. Haastattelut 3.11.2008 ja 27.4.2009. Tutkimusassistentti. Geo-Work Oy.

Hyypiä, Jouni 2008. Haastattelu 12.12.2008. Aluetekniikan- ja vesihuollon suunnittelupäällikkö. AIRIX Ympäristö Oy.

Hänninen, Pekka 1986. Maatutkaluotaus maaperätutkimuksissa. WWW-dokumentti. http://arkisto.gtk.fi/p13/p13_5_5_009.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 13.3.2009.

Hänninen Pekka, Huhta Pekka, Majaniemi Juha ja Äikää Osmo, 2009. Maatutkaluotauksen soveltuvuudesta maan lohkareisuuden määrittämiseen. GTK:n tutkimus.

Kiri, Timo 2009. Henkilökohtainen tiedonanto 25.2.2009. Maanrakennusurakoitsija. Maa- ja vesirakennus Kiri oy.

Lähteenmäki, Pasi 2009. Henkilökohtainen tiedonanto 12.3.2009. Suunnitteluinsinööri. Sastamalan kaupunki.

Maatutkarengas ry 2000. Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari 15.-16.02.2000 Kuopio.

Oravainen, Teemu 2009. Haastattelu 10.1.2009. Aluetekniikan- ja vesihuollon suunnittelija. AIRIX Ympäristö Oy.

Pollari, Risto 2008. Haastattelu 3.11.2008 ja 27.4.2009. Toimitusjohtaja. Geo-Work Oy.

Saarenketo, Timo 2006. Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of Ground Penetrating Radar in traffic infrastructure surveys

Silanne, Tapio 2009. Henkilökohtainen tiedonanto 26.2.2009. Rakennuttajainsinööri. Pirkanmaan ympäristökeskus.

Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. 1991. Maatutkaluotaus

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2005. Maahan ja veteen asennettavat kestonuoviputket, asennusohjeet.

Viitanen, Jouni 2009. Sähköpostikeskustelu 2.2.–13.2.2009. Työmaapäällikkö. Destia Oy.

Öster, Harriet 2006. Maatutka on monessa mukana. GeoFoorumi 2/2006, 18-19.

LIITTEET

LIITE 1. Maatutkatulkintakuva

LIITE 2. Maatutkatulkinta koordinaattimuodossa

LIITE 3. Vesihuoltolinjan toteutussuunnitelman pituusleikkaus

LIITE 4. Maastokartta

LIITE 5. GTK:n maaperäkartta

LIITE 6. Yleiskartta Padasjoki-Asikkala vesihuoltolinjoista

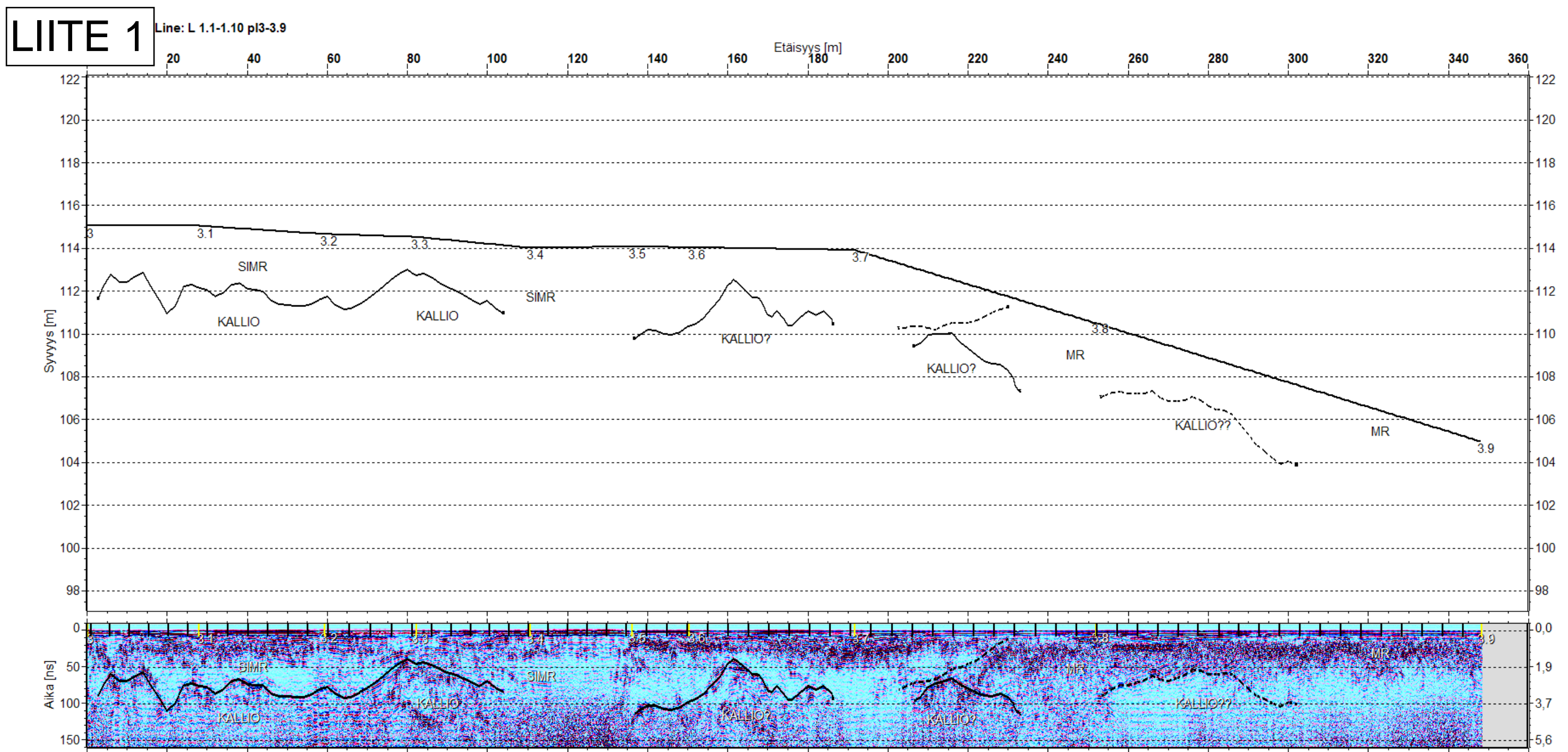
LIITE 7. Yleiskartta Vesilahti-Lempäälä siirtoviemäri-
linjasta

LIITE 8. Yleiskartta Sotkian-Kurijärven vesihuoltolinjoista

LIITE 9. Yleiskartta Kikkerlän alueen vesihuoltolinjoista

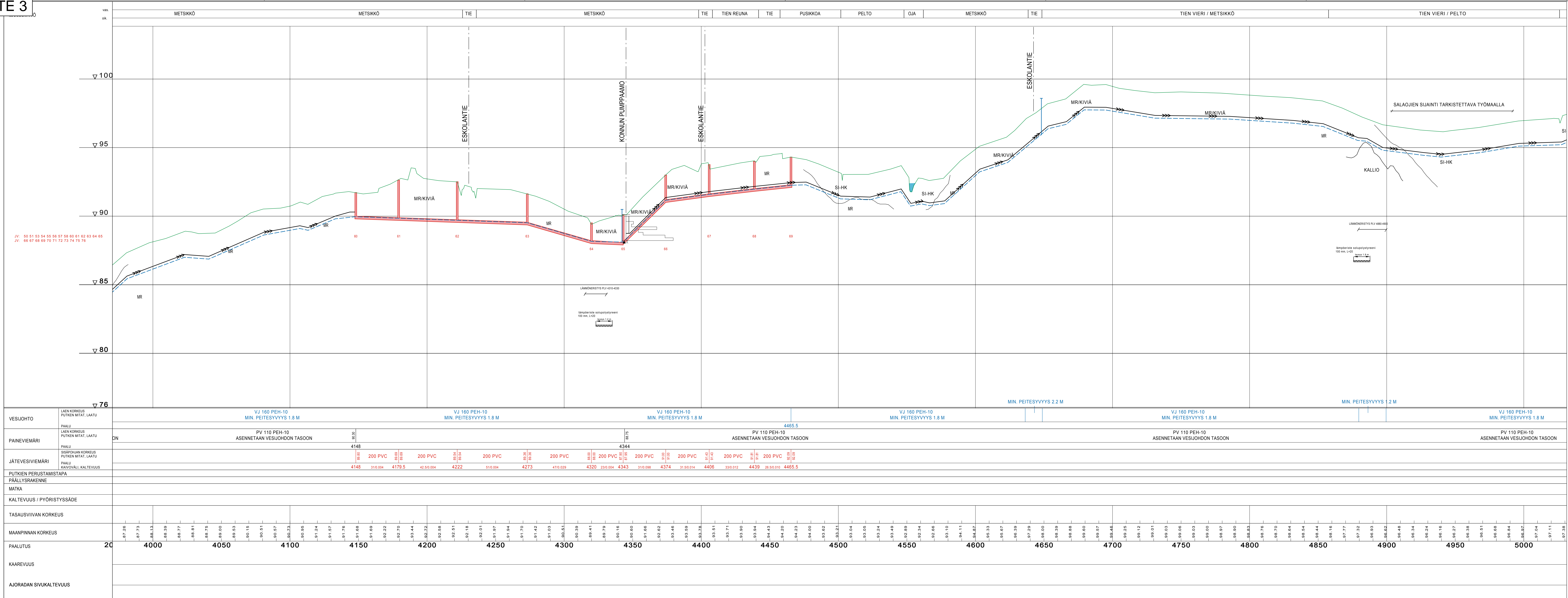
LIITE 10. Yleiskartta Taipaleen alueen ja Heikkilän toimintakeskuksen viemärointi-
linjoista

LIITE 11. Yleiskartta Pajunimen alueen viemärointilinjoista

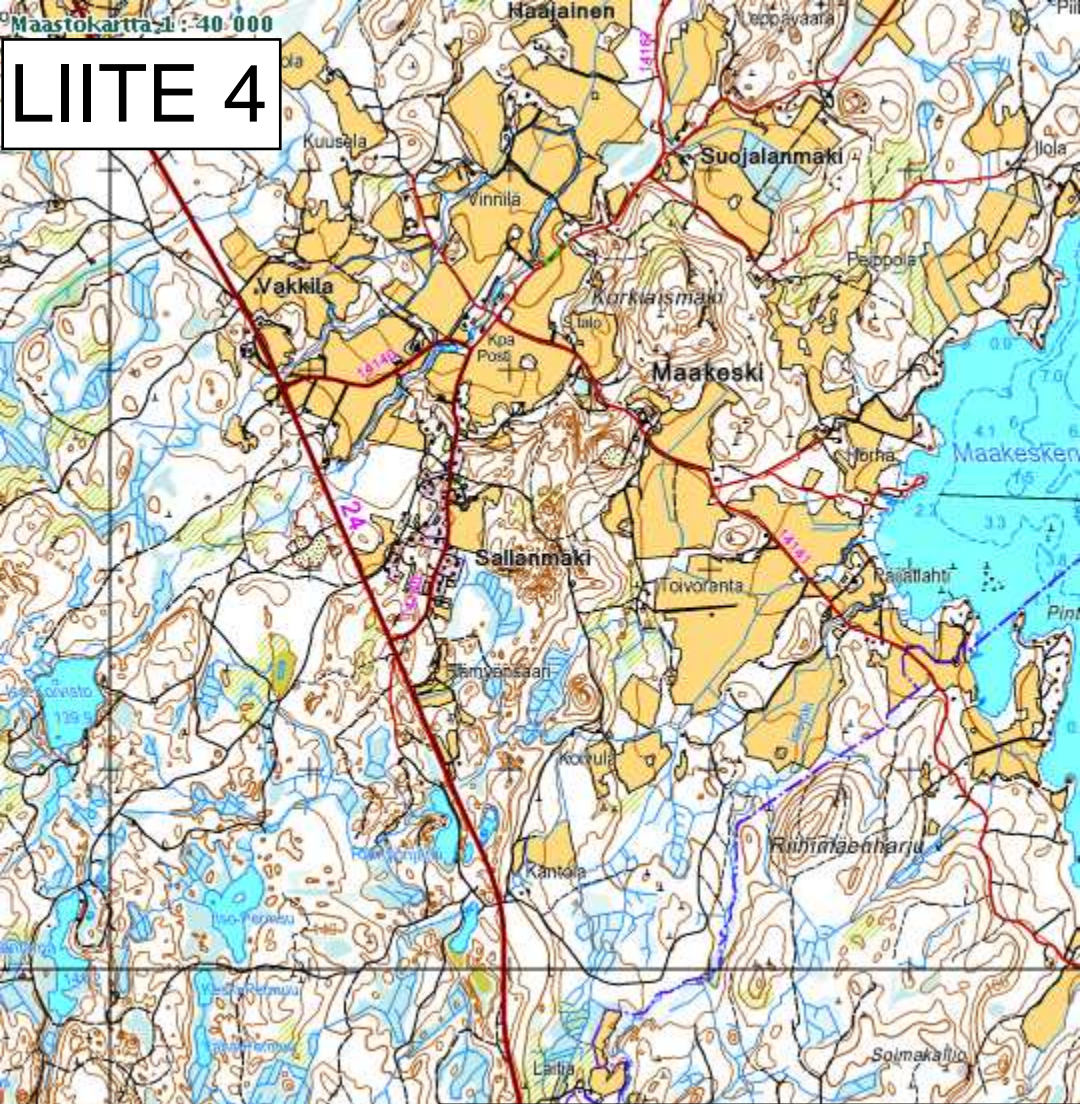


LIITE 2

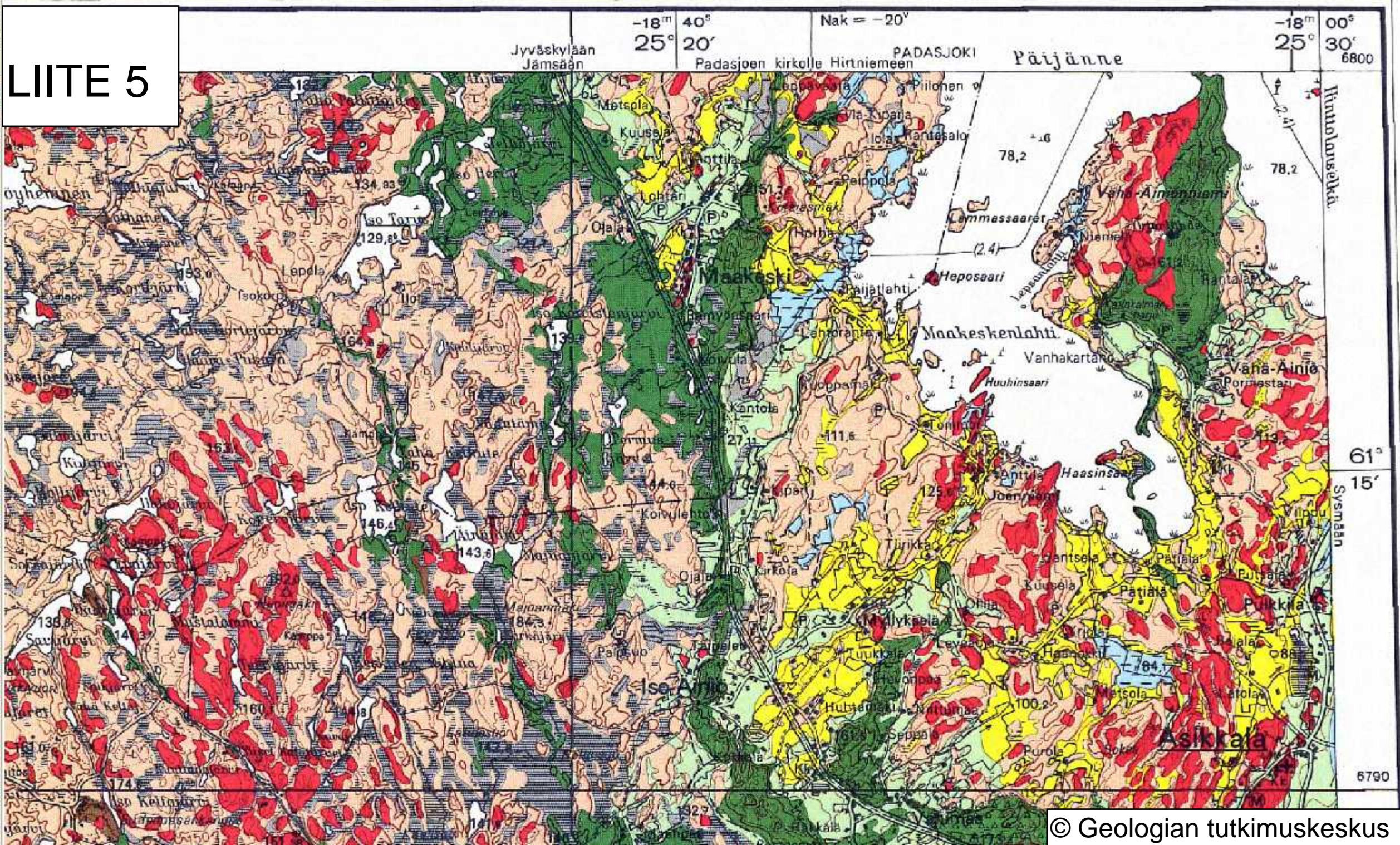
```
PL 152-331_C=15.txt
@ "Padasjoki-Asikkala PL 152-331 C=15"
@ "Code Er_0 Er_1 Code_Name"
@ "15 5,000 5,000 pohjaveden pinta"
@ "CABIXYD/O=:/D=z/A=0/B=0/C=15/T=@/K=8960/ : < >"
Koodi ArvA ArvB Laskuri X-koord(m) Y-koord(m) Taso(m)
15 1 0 1 6794398.239 2572046.629 116.501
15 1 0 2 6794384.979 2572049.668 116.288
15 1 0 3 6794371.866 2572052.673 116.106
15 1 0 4 6794359.190 2572055.335 116.045
15 1 0 5 6794346.468 2572057.782 115.954
15 1 0 6 6794335.023 2572059.984 116.045
15 1 0 7 6794323.922 2572062.119 115.984
15 1 0 8 6794312.816 2572064.214 115.893
15 1 0 9 6794299.024 2572065.422 115.923
15 1 0 10 6794286.776 2572066.494 115.984
15 1 0 11 6794282.893 2572066.834 115.954
15 1 0 12 6794274.728 2572067.549 115.923
15 1 0 13 6794268.853 2572068.064 115.923
15 1 0 14 6794259.144 2572068.914 115.924
15 1 0 15 6794241.262 2572070.524 115.893
15 1 0 16 6794230.652 2572071.483 116.498
15 1 0 17 6794227.015 2572071.812 116.603
15 1 0 18 6794223.279 2572072.150 116.672
15 1 0 19 6794218.846 2572072.550 116.998
15 1 0 20 6794213.068 2572073.073 117.225
15 1 0 21 6794203.354 2572073.951 116.928
15 1 0 22 6794195.979 2572074.581 116.919
15 1 0 23 6794191.236 2572074.824 116.876
15 1 0 24 6794187.392 2572075.021 116.915
```



LIITE 4



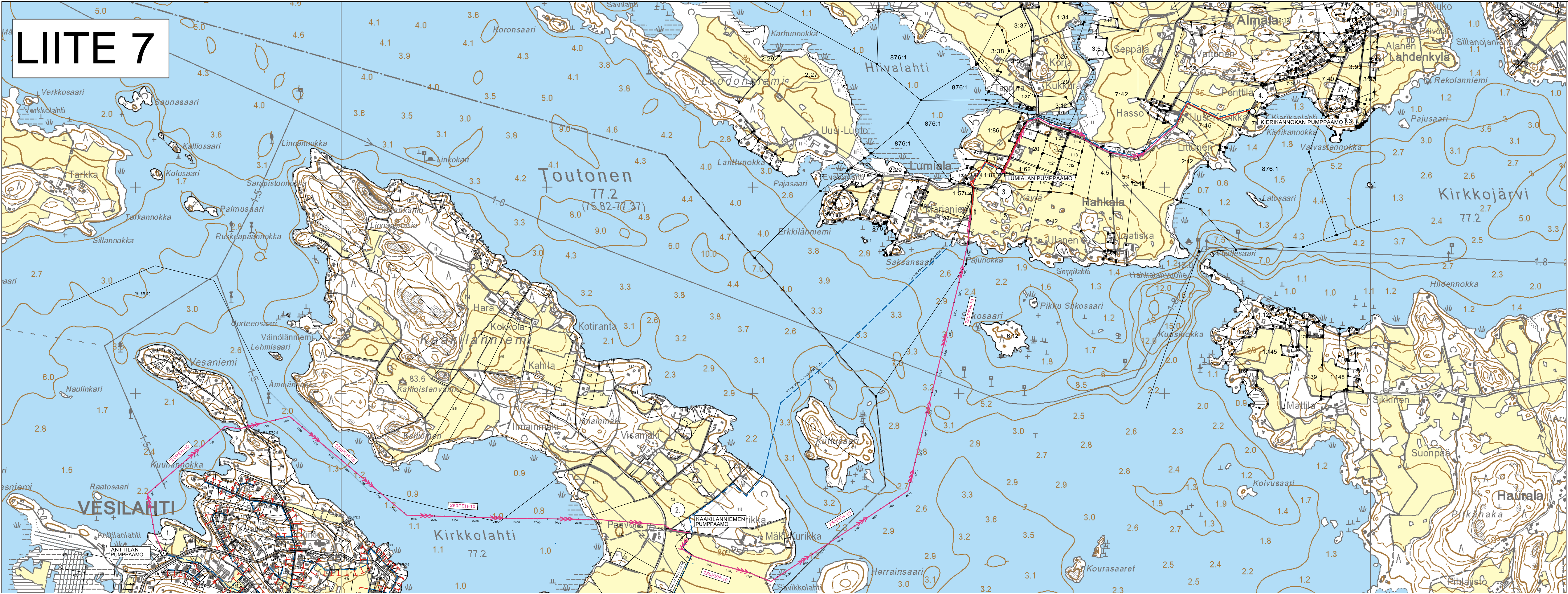
LIITE 5



LIITE 6



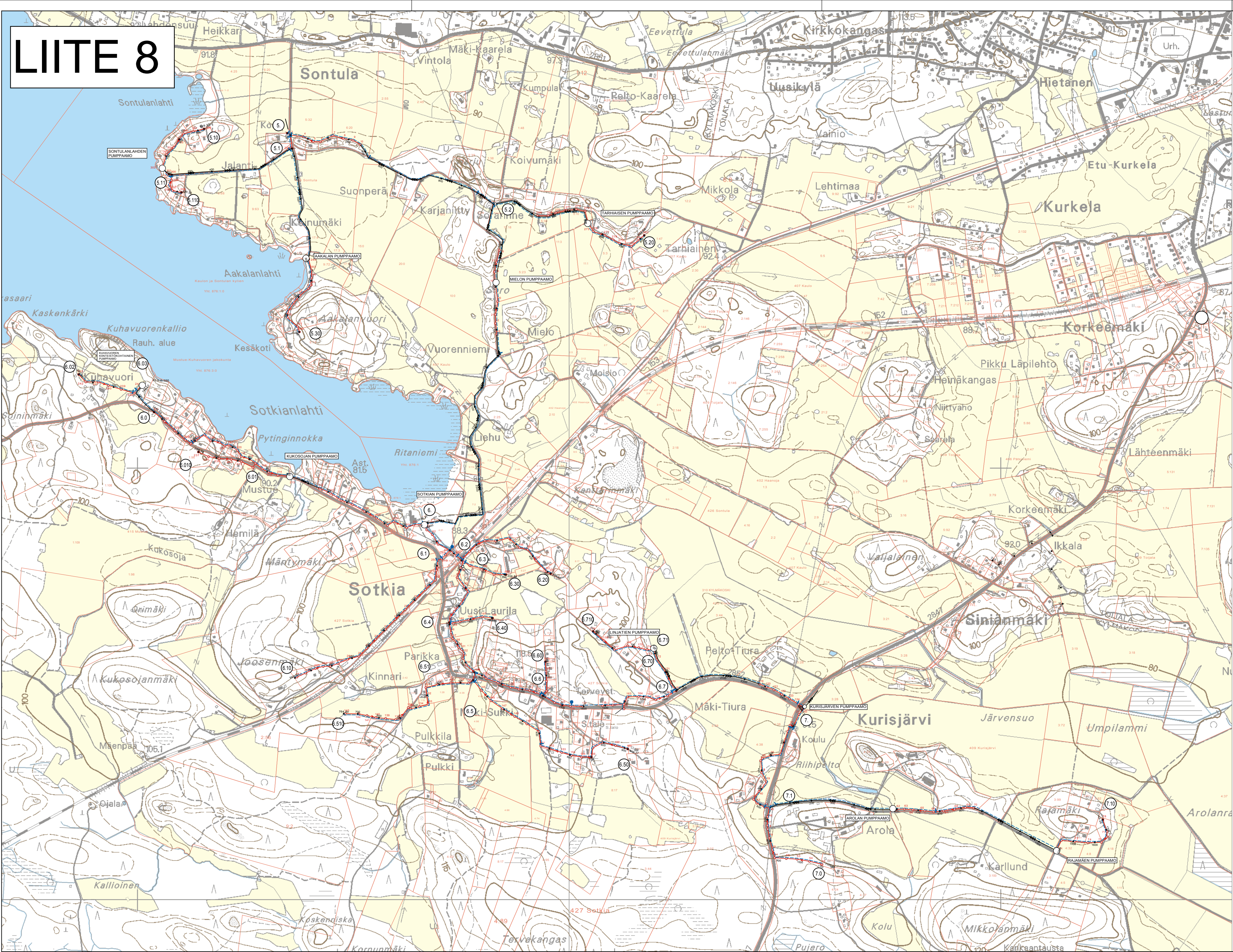
RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA OSOITE		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ		MITTAKAAVA	
PADASJOKI-ASIKKALA		YLEISKARTTA		1:20000	
VESIHUOLTOLINJA		LINJANUMEROINTI		OPINNÄYTETYÖ	
AIRIX Ympäristö		TIEDOSTO			
AIRIX Ympäristö Oy		SUUNN.			
PL 453, 33101 TAMPERE		PIIRIT			
25.02.2009		PKAM			
		TARK.			
		SUUNN. ALA		TYÖ N:O	
		PIIR N:O		MUUTOS	



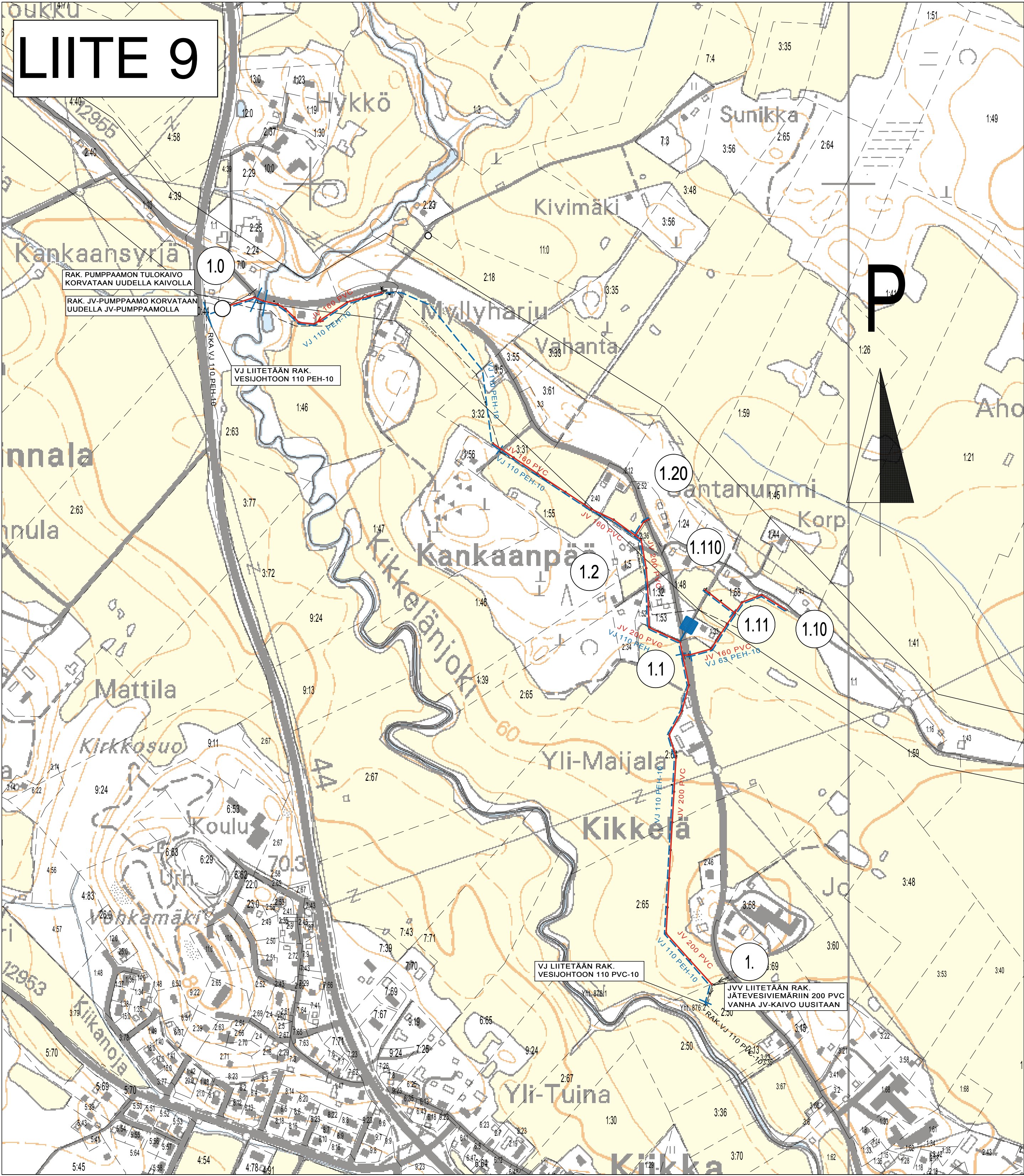
LIITE 7

RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA OSOITE		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ		MITTAKAAVA	
VESILAHTI-LEMPÄÄLÄ SIIRTOVIEMÄRI		YLEISKARTTA LINJANUMEROINTI OPINNÄYTETYÖ		1:10000	
AIRIX Ympäristö FMC GROUP		SUUNN. PIIRT. TARK.		TIEDOSTO	
AIRIX Ympäristö Oy PL 453, 33101 TAMPERE * 010 2414 000		SUUNN. ALA		TYÖ N:O	PIIR N:O
25.02.2009					MUUTOS

LIITE 8



LIITE 9



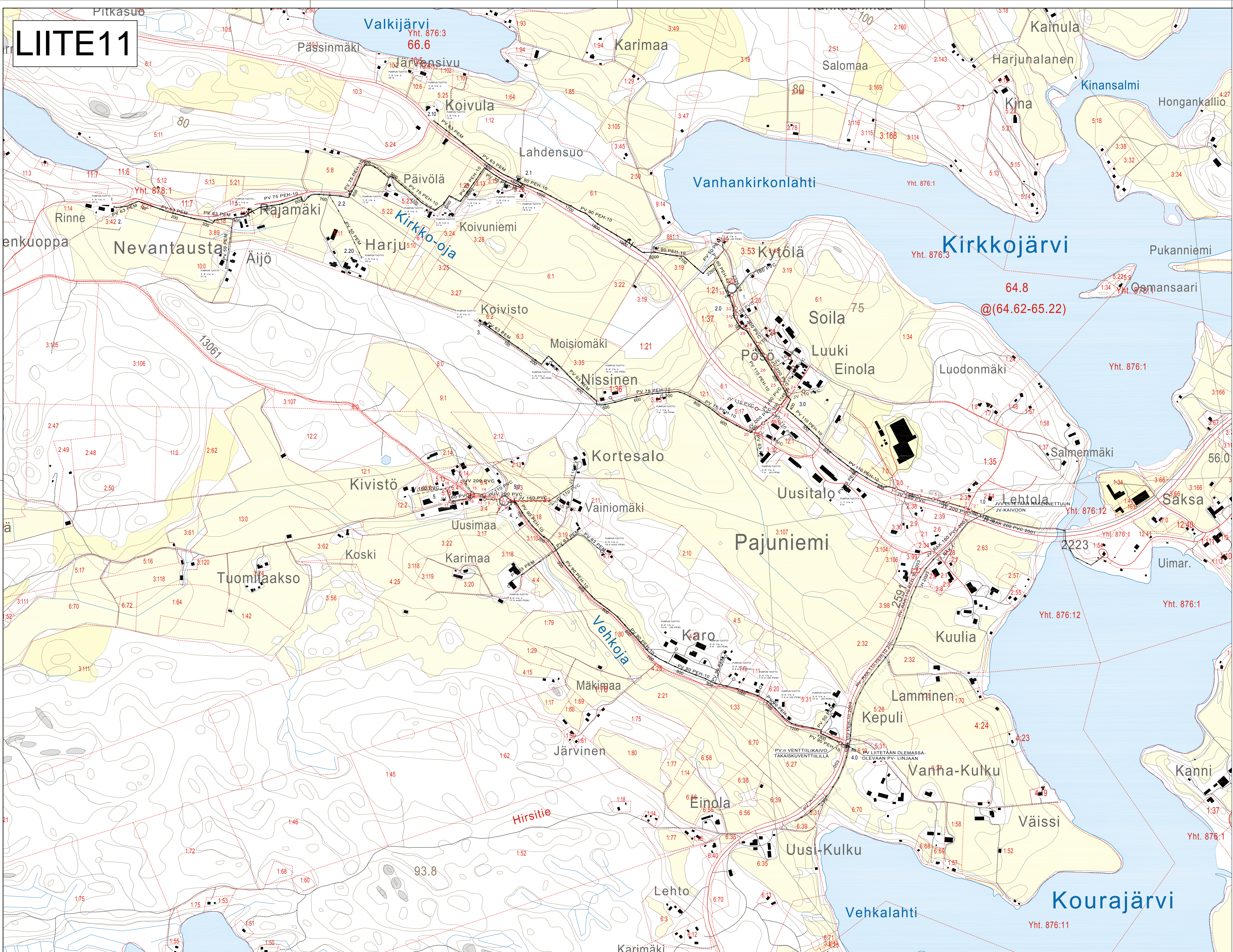
RAKENNUSKOHTTEEN NIMI JA OSOITE		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ		MITTAKAAVA
SASTAMALAN KAUPUNKI KIKKERLÄN ALUEEN VESIHUOLTO		YLEISKARTTA LINJANUMEROINTI OPINNÄYTETYÖ		1:50000
AIRIX Ympäristö FMC GROUP		TIEDOSTO		
AIRIX Ympäristö Oy PL 453, 33101 TAMPERE • 010 2414 000		SUUNN. PIIRIT TARK.	SUUNN. ALA	TYÖ N:O
30.03.2009				PIIRI N:O
				MUUTOS

LIITE 10



RAKENNUSKOHTEN NIMI JA OSOITE		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ		MITTAAKAAVA	
SASTAMALAN KAUPUNKI TAIPALEEN ALUEEN JA HEIKKILÄN TOIMINTAKESKUKSEN VIEMÄRÖINTI		YLEISKARTTA LINJANUMEROINTI OPINNÄYTETYO		1:10 000	
AIRIX Ympäristö FMC GROUP		TIEDOSTO			
SUUNN. PIIRIT PAKM TARK.		SUUNN. ALA	TYÖ N°	PIIR N°	MUUTOS
30.3.2009		-	-	-	-

LIITE 11



RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ		MITTAKAIVA	
SASTAMALAN KAUPUNKI PAJUNIEMIEN ALUEEN VIEMÄRÖINTI		YLEISKARTTA LINJANUMEROINTI OPINNÄYTETYO		1:5000	
AIRIX Ympäristö FMC GROUP		SUUNNITTELU PIKAM TARK.		TIEDOSTO	
AIRIX Ympäristö Oy PL 453, 33101 TAMPERE * 010 2414 000		SUUNNITTELU TYÖ N:o		PIIR N:o	
25.02.2009		TARK.		MUUTOS	